

国家职业资格培训教材



数控铣工/ 加工中心操作工(高级) 操作技能鉴定 试题集锦与考点详解

国家职业资格培训教材编审委员会 组编
沈建峰 主编

依据最新国家职业标准编写，紧扣鉴定考核要求

精选30套全真试题，重点、难点、考点详细解析

国家级考评员精心点评，快速提升学习效率



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

国家职业资格培训教材

数控铣工/加工中心操作工 (高级) 操作技能鉴定 试题集锦与考点详解

国家职业资格培训教材编审委员会 组编

主 编 沈建峰

参 编 张文华 薛 龙 骆小军

主 审 韩鸿鸾



机械工业出版社

本教材是针对国家职业技能鉴定操作技能考试的需要,参照《国家职业标准》数控铣工(高级)、加工中心操作工(高级)的要求,按技能考核鉴定点进行编排设计的。本教材共收录了30个职业技能鉴定样例,这些样例大都来自各省市及国家题库。每个样例着重分析了考核要求、加工准备与加工要求、相关加工工艺和编程方法,并且分别给出了FANUC Oi系统和SIEMENS 802D系统的参考程序,最后对本样例中的考点进行了提炼。样例编排由浅入深,每个样例既有独立性,相互之间又有一定的内在联系。

本教材既可作为各级职业技能鉴定培训机构、企业培训部门、职业技术学院、技工院校考前培训的强化训练教材,又可作为参加职业技能鉴定读者的考前操作技能实战训练用书。

图书在版编目(CIP)数据

数控铣工/加工中心操作工(高级)操作技能鉴定试题集锦与考点详解/沈建峰主编;国家职业资格培训教材编审委员会组编. —北京:机械工业出版社,2014.5

国家职业资格培训教材

ISBN 978-7-111-46486-0

I. ①数… II. ①沈…②国… III. ①数控机床—铣床—技术培训—习题集②数控机床加工中心—技术培训—习题集 IV. ①TG547-44②TG659-44

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第079399号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:荆宏智 赵磊磊 责任编辑:赵磊磊

版式设计:赵颖喆 责任校对:刘怡丹

封面设计:张静 责任印制:李洋

北京华正印刷有限公司印刷

2014年7月第1版第1次印刷

169mm×239mm·14.5印张·292千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-46486-0

定价:29.80元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203

封面无防伪标均为盗版

国家职业资格培训教材

编审委员会

主 副 委	主	任	于 珍																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
-------------	---	---	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

序

为落实国家人才发展战略目标，加快培养一大批高素质的技能型人才，我们精心策划了与原劳动和社会保障部《国家职业标准》配套的《国家职业资格培训教材》。这套教材涵盖41个职业，共172种。2005年出版后，以其兼顾岗位培训和鉴定培训需要，理论、技能、题库合一，便于自检自测等特点，受到全国各级培训、鉴定部门和技术工人的欢迎，基本满足了培训、鉴定、考工和读者自学的需要，为培养技能人才发挥了重要作用，本套教材也因此成为国家职业资格培训的品牌教材。JJJ——“机工技能教育”品牌已深入人心。

按照国家“十一五”高技能人才培养体系建设的主要目标，到“十一五”期末，全国技能劳动者总量将达到1.1亿人，高级工、技师、高级技师总量均有大幅增加。因此，从2005年至2009年的五年间，参加职业技能鉴定的人数和获取职业资格证书的人数年均增长达10%以上，2009年全国参加职业技能鉴定和获取职业资格证书的人数均已超过1200万人。这种趋势在“十二五”期间还将会得以延续。

为满足职业技能鉴定培训的需要，我们经过充分调研，决定在已经出版的《国家职业资格培训教材》的基础上，贯彻“围绕考点，服务鉴定”的原则，紧扣职业技能鉴定考核要求，根据企业培训部门、技能鉴定部门和读者的不同需求进行细化，分别编写理论鉴定培训教材系列、操作技能鉴定实战详解系列和职业技能鉴定考核题库系列。

《国家职业资格培训教材——鉴定培训教材系列》用于国家职业技能鉴定理论知识考试前的理论培训。它主要有以下特色：

- **汲取国家职业资格培训教材精华**——保留国家职业资格培训教材的精华内容，考虑企业和读者的需要，重新整合、更新、补充和完善培训教材的内容。
- **依据最新国家职业标准要求编写**——以《国家职业技能标准》要求为依据，以“实用、够用”为宗旨，以便于培训为前提，提炼重点培训和复习的内容。
- **紧扣国家职业技能鉴定考核要求**——按复习指导形式编写，教材中的知识点紧扣职业技能鉴定考核的要求，针对性强，适合技能鉴定考试前培训使用。

《国家职业资格培训教材——操作技能鉴定实战详解系列》用于国家职业技能鉴定操作技能考试前的突击冲刺、强化训练。它主要有以下特色：

- **重点突出，具有针对性**——依据技能考核鉴定点设计，目的明确。
- **内容全面，具有典型性**——图样、评分表、准备清单，完整齐全。
- **解析详细，具有实用性**——工艺分析，操作步骤和重点解析详细。

● **练考结合，具有实战性**——单项训练题、综合训练题，步步提升。

《国家职业资格培训教材——职业技能鉴定考核试题库系列》用于技能培训、鉴定部门命题和参加技能鉴定人员复习、考核和自检自测。它主要有以下特色：

● 初级、中级、高级、技师、高级技师各等级全包括。

● 试题典型性、代表性、针对性、通用性、实用性强。

● 内含职业技能鉴定试题、全国及部分省市大赛试题。

这些教材是《国家职业资格培训教材》的扩充和完善，目的是满足不同的需求，将“机工技能教育”品牌发扬光大。在编写时，我们重点考虑了以下几个方面：

在工种选择上，选择了机电行业的车工、铣工、钳工、机修钳工、汽车修理工、制冷设备维修工、铸造工、焊工、冷作钣金工、热处理工、涂装工、维修电工等近二十个主要工种。

在编写依据上，依据最新国家职业标准要求，紧扣职业技能鉴定考核要求编写。对没有国家职业标准，但社会需求量大且已单独培训和考核的职业，则以相关国家职业标准或地方鉴定标准和要求为依据编写。

在内容安排上，提炼应重点培训和复习的内容，突出“实用、够用”，重在教会读者掌握必需的专业知识和技能，掌握各种类型题的应试技巧和方法。

在作者选择上，共有十几个省、自治区、直辖市相关行业 200 多名工程技术人员、教师、技师和高级技师等从事技能培训和考工的专家参加编写。他们既了解技能鉴定的要求，又具有丰富的教材编写经验。

全套教材既可作为各级职业技能鉴定培训机构、企业培训部门的考前培训教材，又可作为读者考前复习和自测使用的复习用书，也可供职业技能鉴定部门在鉴定命题时参考，还可作为职业技术学院、技工院校、各种短训班的专业课教材。

在这套教材的调研、策划、编写过程中，曾经得到许多企业、鉴定培训机构有关领导、专家、工程技术人员、技师和高级技师的大力支持和帮助，在此表示衷心的感谢！

虽然我们在编写这套培训教材中尽了很大努力，但教材中难免存在不足之处，诚恳地希望专家和广大读者批评指正。

国家职业资格培训教材编审委员会

前 言

随着机电一体化技术的迅速发展，数控机床的应用已日趋普及，现代制造业广泛采用数控技术以提高工件的加工精度和生产率。随着数控机床的大量使用，社会对数控技术人才的需求也越来越大。为了加强数控技术人员的规范性，原劳动和社会保障部在以前相关标准的基础上，于 2005—2007 年分别对数控加工行业的标准进行了更新与增加。各省市也在根据这些标准进行相应的技术等级鉴定。越来越多的数控机床操作人员通过技能鉴定考试取得了职业资格证书。但是，很多参加技能鉴定考核的人员对技能鉴定试题考点了解得还不是很清楚，而且目前市场上针对技能等级鉴定的图书还不是很很多，为此我们组织有关专家编写了《数控铣工/加工中心操作工（高级）操作技能鉴定试题集锦与考点详解》一书。

本教材是针对国家职业技能鉴定操作技能考试的需要，参照《国家职业标准》数控铣工（高级）、加工中心操作工（高级）的要求，按技能考核鉴定点进行编排设计的。本教材共收录了 30 个职业技能鉴定样例，这些样例大都来自各省市及国家题库。每个样例着重分析了考核要求、加工准备与加工要求、相关加工工艺和编程方法，并且分别给出了 FANUC 0i 系统和 SIEMENS 802D 系统的参考程序，最后对本样例中的考点进行了提炼。样例编排由浅入深，每个样例既有独立性，相互之间又有一定的内在联系。

本教材由沈建峰任主编，张文华、薛龙和骆小军参加编写，全书由韩鸿鸾主审。本教材在编写过程中得到了山东省、河南省、河北省、江苏省、上海市等地技能鉴定部门的大力支持，在此深表谢意。

由于编者水平有限，书中难免存在错误和不足之处，恳请广大读者给予批评指正。

编 者

目 录

序

前言

国家职业标准对数控铣工（高级工）的工作要求	1
国家职业标准对加工中心操作工（高级工）的工作要求	3
通过职业技能鉴定考核的技巧	6
职业技能鉴定样例 1	8
职业技能鉴定样例 2	15
职业技能鉴定样例 3	25
职业技能鉴定样例 4	32
职业技能鉴定样例 5	41
职业技能鉴定样例 6	47
职业技能鉴定样例 7	56
职业技能鉴定样例 8	65
职业技能鉴定样例 9	73
职业技能鉴定样例 10	80
职业技能鉴定样例 11	86
职业技能鉴定样例 12	93
职业技能鉴定样例 13	102
职业技能鉴定样例 14	111
职业技能鉴定样例 15	118
职业技能鉴定样例 16	125
职业技能鉴定样例 17	132
职业技能鉴定样例 18	139
职业技能鉴定样例 19	148
职业技能鉴定样例 20	154
职业技能鉴定样例 21	159
职业技能鉴定样例 22	167
职业技能鉴定样例 23	176
职业技能鉴定样例 24	186
职业技能鉴定样例 25	196
职业技能鉴定样例 26	203



职业技能鉴定样例 27	209
职业技能鉴定样例 28	215
职业技能鉴定样例 29	219
职业技能鉴定样例 30	221

国家职业标准对数控铣工（高级工）的工作要求

职业功能	工作内容	技能要求	相关知识
一、加工准备	1. 读图与绘图	1) 能读懂装配图并拆画零件图 2) 能够测绘零件 3) 能够读懂数控铣床主轴系统、进给系统的机构装配图	1) 根据装配图拆画零件图的方法 2) 零件的测绘方法 3) 数控铣床主轴与进给系统基本构造知识
	2. 制订加工工艺	能编制二维、简单三维曲面零件的铣削加工工艺文件	复杂零件数控加工工艺的制订
	3. 零件定位与装夹	1) 能选择和使用组合夹具和专用夹具 2) 能选择和使用专用夹具装夹异形零件 3) 能分析并计算夹具的定位误差 4) 能够设计与自制装夹辅具（如轴套、定位件等）	1) 数控铣床组合夹具和专用夹具的使用、调整方法 2) 专用夹具的使用方法 3) 夹具定位误差的分析与计算方法 4) 装夹辅具的设计与制造方法
	4. 刀具准备	1) 能够选用专用工具（刀具和其他） 2) 能够根据难加工材料的特点，选择刀具的材料、结构和几何参数	1) 专用刀具的种类、用途、特点和刃磨方法 2) 切削难加工材料时的刀具材料和几何参数的确定方法
二、数控编程	1. 手工编程	1) 能够编制较复杂的二维轮廓铣削程序 2) 能够根据加工要求编制二次曲面的铣削程序 3) 能够运用固定循环、子程序进行零件的加工程序编制 4) 能够进行变量编程	1) 较复杂二维节点的计算方法 2) 二次曲面几何体外轮廓节点计算 3) 固定循环和子程序的编程方法 4) 变量编程的规则和方法
	2. 计算机辅助编程	1) 能够利用 CAD/CAM 软件进行中等复杂程度的实体造型（含曲面造型） 2) 能够生成平面轮廓、平面区域、三维曲面、曲面轮廓、曲面区域、曲线的刀具轨迹 3) 能进行刀具参数的设定 4) 能进行加工参数的设置 5) 能确定刀具的切入切出位置与轨迹 6) 能够编辑刀具轨迹 7) 能够根据不同的数控系统生成 G 代码	1) 实体造型的方法 2) 曲面造型的方法 3) 刀具参数的设置方法 4) 刀具轨迹生成的方法 5) 各种材料切削用量的数据 6) 有关刀具切入切出的方法对加工质量影响的知识 7) 轨迹编辑的方法 8) 后置处理程序的设置和使用方法
	3. 数控加工仿真	能利用数控加工仿真软件实施加工过程仿真、加工代码检查与干涉检查	数控加工仿真软件的使用方法



(续)

职业功能	工作内容	技能要求	相关知识
三、数控铣床操作	1. 程序调试与运行	能够在机床中断加工后正确恢复加工	程序的中断与恢复加工的方法
	2. 参数设置	能够依据零件特点设置相关参数进行加工	数控系统参数设置方法
四、零件加工	1. 平面铣削	能够编制数控加工程序铣削平面、垂直面、斜面、阶梯面等,并达到如下要求: 1) 尺寸公差等级达 IT7 级 2) 几何公差等级达 IT8 级 3) 表面粗糙度达 $Ra3.2\mu m$	1) 平面铣削精度控制方法 2) 刀具端刃几何形状的选择方法
	2. 轮廓加工	能够编制数控加工程序铣削较复杂的(如凸轮等)平面轮廓,并达到如下要求: 1) 尺寸公差等级达 IT8 级 2) 几何公差等级达 IT8 级 3) 表面粗糙度达 $Ra3.2\mu m$	1) 平面轮廓铣削的精度控制方法 2) 刀具侧刃几何形状的选择方法
	3. 曲面加工	能够编制数控加工程序铣削二次曲面,并达到如下要求: 1) 尺寸公差等级达 IT8 级 2) 几何公差等级达 IT8 级 3) 表面粗糙度达 $Ra3.2\mu m$	1) 二次曲面的计算方法 2) 刀具影响曲面加工精度的因素以及控制方法
	4. 孔系加工	能够编制数控加工程序对孔系进行切削加工,并达到如下要求: 1) 尺寸公差等级达 IT7 级 2) 几何公差等级达 IT8 级 3) 表面粗糙度达 $Ra3.2\mu m$	麻花钻、扩孔钻、丝锥、铰刀及铰刀的加工方法
	5. 深槽加工	能够编制数控加工程序进行深槽、三维槽的加工,并达到如下要求: 1) 尺寸公差等级达 IT8 级 2) 几何公差等级达 IT8 级 3) 表面粗糙度达 $Ra3.2\mu m$	深槽、三维槽的加工方法
	6. 配合件加工	能够编制数控加工程序进行配合件加工,尺寸配合公差等级达 IT8 级	1) 配合件的加工方法 2) 尺寸链换算的方法
	7. 精度检验	1) 能够利用数控系统的功能使用百(千)分表测量零件的精度 2) 能对复杂、异形零件进行精度检验 3) 能够根据测量结果分析产生误差的原因 4) 能够通过修正刀具补偿值和修正程序来减少加工误差	1) 复杂、异形零件的精度检验方法 2) 产生加工误差的主要原因及其消除方法
五、维护与故障诊断	1. 日常维护	能完成数控铣床的定期维护	数控铣床定期维护手册
	2. 故障诊断	能排除数控铣床的常见机械故障	机床的常见机械故障诊断方法
	3. 机床精度检验	能协助检验机床的各种出厂精度	机床精度的基本知识

国家职业标准对加工中心操作工（高级工）的工作要求

职业功能	工作内容	技能要求	相关知识
一、加工准备	1. 读图与绘图	1) 能够读懂装配图并拆画零件图 2) 能够测绘零件 3) 能够读懂加工中心主轴系统、进给系统的机构装配图	1) 根据装配图拆画零件图的方法 2) 零件的测绘方法 3) 加工中心主轴与进给系统基本构造知识
	2. 制订加工工艺	能编制箱体类零件的加工中心加工工艺文件	箱体类零件数控加工工艺文件的制订
	3. 零件定位与装夹	1) 能根据零件的装夹要求正确选择和使用组合夹具和专用夹具 2) 能够选择和使用专用夹具装夹异形零件 3) 能分析并计算加工中心夹具的定位误差 4) 能够设计与自制装夹辅具（如轴套、定位件等）	1) 加工中心组合夹具和专用夹具的使用、调整方法 2) 专用夹具的使用方法 3) 夹具定位误差的分析与计算方法 4) 装夹辅具的设计与制造方法
	4. 刀具准备	1) 能够选用专用工具 2) 能够根据难加工材料的特点，选择刀具的材料、结构和几何参数	1) 专用刀具的种类、用途、特点和刃磨方法 2) 切削难加工材料时的刀具材料和几何参数的确定方法
二、数控编程	1. 手工编程	1) 能够编制较复杂的二维轮廓铣削程序 2) 能够运用固定循环、子程序进行零件的加工程序编制 3) 能够运用变量编程	1) 较复杂二维节点的计算方法 2) 球、锥、台等几何体外轮廓节点计算 3) 固定循环和子程序的编程方法 4) 变量编程的规则和方法
	2. 计算机辅助编程	1) 能够利用 CAD/CAM 软件进行中等复杂程度的实体造型（含曲面造型） 2) 能够生成平面轮廓、平面区域、三维曲面、曲面轮廓、曲面区域、曲线的刀具轨迹 3) 能够进行刀具参数的设定 4) 能进行加工参数的设置 5) 能确定刀具的切入切出位置与轨迹 6) 能够编辑刀具轨迹 7) 能够根据不同的数控系统生成 G 代码	1) 实体造型的方法 2) 曲面造型的方法 3) 刀具参数的设置方法 4) 刀具轨迹生成的方法 5) 各种材料切削用量的数据 6) 有关刀具切入切出的方法对加工质量影响的知识 7) 轨迹编辑的方法 8) 后置处理程序的设置和使用方法
	3. 数控加工仿真	能利用数控加工仿真软件实施加工过程仿真、加工代码检查与干涉检查	数控加工仿真软件的使用方法



(续)

职业功能	工作内容	技能要求	相关知识
三、加工中心操作	1. 程序调试与运行	能够在机床中断加工后正确恢复加工	加工中心的中断与恢复加工的方法
	2. 在线加工	能够使用在线加工功能, 运行大型加工程序	加工中心的在线加工方法
四、零件加工	1. 平面加工	能够编制数控加工程序进行平面、垂直面、斜面、阶梯面等铣削加工, 并达到如下要求: 1) 尺寸公差等级达 IT7 级 2) 几何公差等级达 IT8 级 3) 表面粗糙度达 $Ra3.2\mu m$	平面铣削的加工方法
	2. 型腔加工	能够编制数控加工程序进行模具型腔加工, 并达到如下要求: 1) 尺寸公差等级达 IT8 级 2) 几何公差等级达 IT8 级 3) 表面粗糙度达 $Ra3.2\mu m$	模具型腔的加工方法
	3. 曲面加工	能够使用加工中心进行多轴铣削加工叶轮、叶片, 并达到如下要求: 1) 尺寸公差等级达 IT8 级 2) 几何公差等级达 IT8 级 3) 表面粗糙度达 $Ra3.2\mu m$	叶轮、叶片的加工方法
	4. 孔类加工	1) 能够编制数控加工程序进行相贯孔的加工, 并达到如下要求: ①尺寸公差等级达 IT8 级 ②几何公差等级达 IT8 级 ③表面粗糙度达 $Ra3.2\mu m$ 2) 能进行调头镗孔, 并达到如下要求: ①尺寸公差等级达 IT7 级 ②几何公差等级达 IT8 级 ③表面粗糙度达 $Ra3.2\mu m$ 3) 能够编制数控加工程序进行刚性攻螺纹, 并达到如下要求: ①尺寸公差等级达 IT8 级 ②几何公差等级达 IT8 级 ③表面粗糙度达 $Ra3.2\mu m$	相贯孔加工、调头镗孔、刚性攻螺纹的方法
	5. 沟槽加工	1) 能够编制数控加工程序进行深槽、特形沟槽的加工, 并达到如下要求: ①尺寸公差等级达 IT8 级 ②几何公差等级达 IT8 级 ③表面粗糙度达 $Ra3.2\mu m$ 2) 能够编制数控加工程序进行螺旋槽、柱面凸轮的铣削加工, 并达到如下要求: ①尺寸公差等级达 IT8 级 ②几何公差等级达 IT8 级 ③表面粗糙度达 $Ra3.2\mu m$	深槽、特形沟槽、螺旋槽、柱面凸轮的加工方法

(续)

职业功能	工作内容	技能要求	相关知识
四、零件加工	6. 配合件加工	能够编制数控加工程序进行配合件加工，尺寸配合公差等级达IT8级	1) 配合件的加工方法 2) 尺寸链换算的方法
	7. 精度检验	1) 能对复杂、异形零件进行精度检验 2) 能够根据测量结果分析产生误差的原因 3) 能够通过修正刀具补偿值和修正程序来减少加工误差	1) 复杂、异形零件的精度检验方法 2) 产生加工误差的主要原因及其消除方法
五、维护与故障诊断	1. 日常维护	能完成加工中心的定期维护保养	加工中心的定期维护手册
	2. 故障诊断	能发现加工中心的一般机械故障	1) 加工中心机械故障和排除方法 2) 加工中心液压原理和常用液压元件
	3. 机床精度检验	能够进行机床几何精度和切削精度检验	机床几何精度和切削精度检验的内容及方法

通过职业技能鉴定考核的技巧

职业技能鉴定考试不是一个精品考试，而是一个合格考试，即不要求操作者得满分，只要求操作者达到及格线即可。因此，操作者在应会操作过程中一定要注意应试技巧，从而顺利通过相应的技能鉴定应会考核。

1. 实操考核的操作要求

在职业技能鉴定考试过程中，操作者的操作水平越高，就越容易取得较高的应会操作成绩。即要求操作者在实操过程中以最合理的工艺方案、最有效的精度保证、最佳的刀具路径、最短的时间完成试件加工。

1) 最合理的工艺方案。最合理的工艺方案是指采用最少的进给次数，实现最快捷的去除方式、最方便工件自检同时又能在规定时间内完成试件加工的工艺方案。

2) 最有效的精度保证。精度是零件加工中最重要的指标，精度决定零件价值。在实操过程中，操作者应合理安排加工顺序，灵活运用各种加工刀具，注意装夹对试件加工精度的影响，从实际出发分配粗、精加工余量，适时调整切削参数，充分利用各种量具和数控系统功能，及时对试件进行直接或间接测量，确保工件加工精度和配合精度。

3) 最佳的刀具路径。最佳的刀具路径是指在保证加工精度和表面粗糙度的前提下，数值计算最简单、进给路线最短、空行程少、编程量小、程序短、简单易行的刀具路径。

4) 最短的时间。熟练的操作、快捷的编程、选择正确的切入点、合理使用刀具、优选切削用量、把握加工节奏、粗精加工分开等因素是力争在规定时间内完成加工项目的重要保障。

2. 实操考核的应试策略

良好的数控职业技能鉴定应试策略也是顺利通过职业技能考核的关键，常用的实操应试策略如下：

1) 确定加工流程。在加工过程中应全盘考虑每一个表面的加工次序，绝对不能出现工件加工到一半无法继续加工的情况。

2) 注意各项精度配分值的大小。通过合理分析配分表并根据考试时间要求，选择配分大、容易保证的尺寸进行精加工，而适当放弃一些配分小、加工难度大的尺寸。

3) 把加工程序分细。由于职业技能鉴定应会考试是单件操作，因此可以用多个程序来完成一道工序。加工过程中可以分成一把刀一个程序，也可以分成一个加

工要素一个程序，这样做既方便找正程序，又方便修整加工精度。

4) 尽可能多用固定循环。采用复合固定循环进行编程，可以使加工程序得到简化，减少程序的输入错误。此外，有些固定循环，如螺纹加工复合固定循环还可以达到优化刀具轨迹的目的。

5) 采用手动操作及 MDI 操作来完成部分切削工作。某些特定的加工，如去除毛坯余量、端面切削、钻孔等操作，采用手动操作显然要比编程操作更简单、更省事。

6) 选用合理的切削用量参数。选择切削用量参数时，可以按经验选取估算值，不必精确，但选择时应适当保守一些，即取偏小值，然后在加工过程中通过机床面板上的按钮进行调整。

7) 保证程序的正确性。在正式加工前，采取“锁住机床空运行”的方式校验程序，并且在显示屏上进行刀具轨迹的绘制。对于这一步操作，最好不要省略。

8) 分段实施，分步推进。实操考试切忌两个极端：一个是没有看清图样上的加工要求，在没有对照配分表和未推敲加工方案的情况下抢先下手，很早就开始加工，从而导致无法弥补的工艺错误；另一个极端是迟迟不动手，看图细之又细，方案慎之又慎，自以为“稳扎稳打”，实则延误了时机，导致无法在规定时间内完成工件。

9) 安全第一。确保人身和机床的安全，这是不容置疑的。在考核过程中注意工件和刀具的安全也很重要，为此，在考试过程中一定要保证程序的正确性、安装的牢靠性和操作的规范性。

职业技能鉴定样例



考核目标

- ◆ 复杂零件图的识读方法；
- ◆ 复杂零件的加工要求分析；
- ◆ 复杂零件的加工工艺分析；
- ◆ 通过等级工鉴定技巧。

一、考核要求

加工如图 1-1 所示零件（坯件尺寸为 80mm × 80mm × 21mm），试分析其加工工艺并编写其数控铣加工程序。

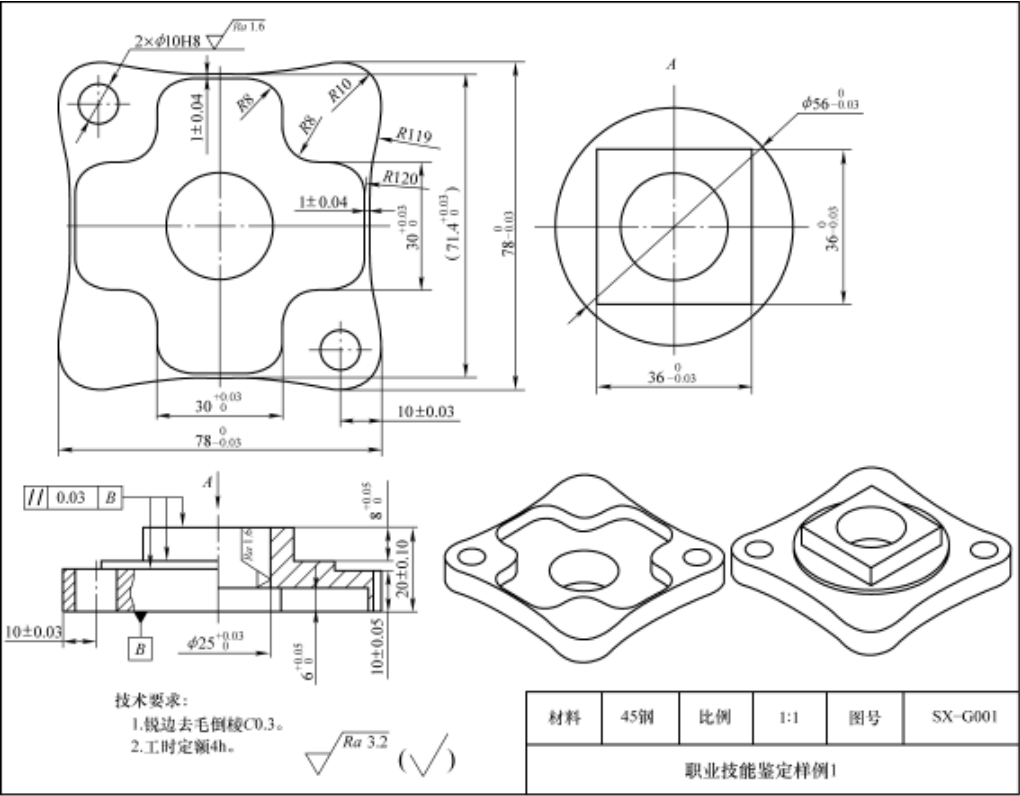


图 1-1 职业技能鉴定样例 1

二、加工准备与加工要求

1. 加工准备

（1）选择机床 本例选择 TK7650 型 FANUC 0i 系统或 SIEMENS 802D 数控铣床或加工中心进行加工，编程方式采用手工编程，换刀方式采用手动换刀。

（2）刀具、量具和工具 加工过程中使用的刀具、量具和工具见表 1-1。

表 1-1 刀具、量具和工具清单表

序号	名称	规格	精度	数量	备注
1	游标卡尺	0 ~ 150mm	0.02mm	1	
2	游标万能角度尺	0 ~ 320°	2′	1	
3	千分尺	0 ~ 25mm; 25 ~ 50mm; 50 ~ 75mm	0.01mm	各 1	
4	内径指示表	18 ~ 35mm	0.01mm	1	
5	内径千分尺	25 ~ 50mm	0.01mm	1	
6	塞规	φ10H8; φ12H8; φ16H8		1	
7	内螺纹量规	M20 × 2; M24 × 2; M27 × 2			
8	深度游标卡尺	0 ~ 150mm	0.02mm	1	
9	深度千分尺	0 ~ 25mm	0.01mm	1	
10	百分表、磁性表座	0 ~ 10mm	0.01mm	各 1	
11	R 规	R1 ~ R6.5mm; R7 ~ R14.5mm; R15 ~ R25mm		各 1	
12	塞尺	0.02 ~ 1mm		1 副	
13	钻头	中心钻: φ6mm; φ6.7mm; φ8.5mm; φ9.8mm; φ10.3mm; φ11.8mm; φ12mm; φ15.8mm 等		1	
14	机用铰刀	φ10H8; φ12H8; φ16H8		各 1	
15	丝锥	M8; M10; M12		各 1	
16	立铣刀	φ6mm; φ8mm; φ10mm; φ12mm; φ14mm; φ16mm		各 1	
17	键槽铣刀	φ6mm; φ10mm; φ16mm		各 1	
18	球形铣刀	R3mm; R4mm; R5mm; R6mm; R8mm		各 1	
19	面铣刀	φ60mm (R 型面铣刀片)		1	
20	螺纹铣刀	1mm、1.5mm、2mm (螺距)		各 1	
21	刀柄、夹头	以上刀具相关刀柄、钻夹头、弹簧夹		若干	
22	卸刀器	BT40		1	
23	对刀器具	寻边器、Z 轴设定仪		各 1	
24	夹具	精密机用虎钳及垫铁		各 1	
25	其他	常用加工中心机床辅具		若干	

（3）选择毛坯 本样例选用的毛坯为 80mm × 80mm × 21mm 的 45 钢或硬铝（请读者根据自身考工条件进行选择，选择不同的材料时，请注意选择不同的切削用量），毛坯材料的技术要求如图 1-2 所示。

2. 加工要求

本样例的工时定额（包括编程与手动输入程序）为 4h，其加工要求见表 1-2。

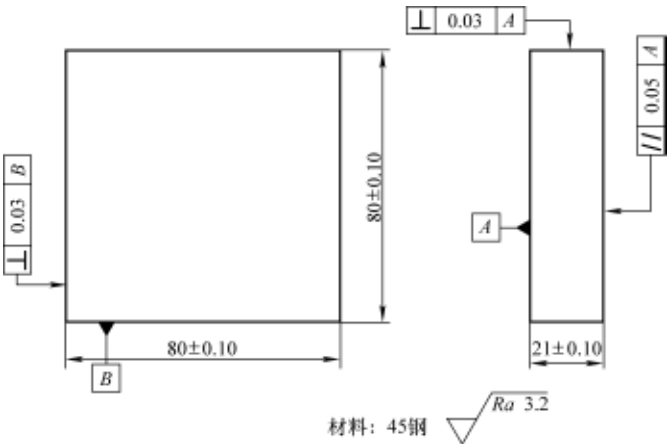


图 1-2 毛坯图

表 1-2 职业技能鉴定样例 1 评分表

工件编号				总得分			
项目与配分		序号	技术要求	配分	评分标准	检测记录	得分
工件加工评分 (100)	正面 外形 轮廓 (50)	1	$78^{+0}_{-0.03}$ mm	4 × 2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		2	$30^{+0.03}_{+0}$ mm	4 × 2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		3	(1 ± 0.04) mm	4 × 2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		4	(71.4 $^{+0.03}_{+0}$) mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		5	$6^{+0.05}_{+0}$ mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		6	(10 ± 0.05) mm	4	超差 0.02mm 扣 1 分		
		7	(20 ± 0.10) mm	4	超差 0.02mm 扣 1 分		
		8	R10mm、R8mm、R119mm	3	超差一处扣 1 分		
		9	Ra3.2μm	4	超差一处扣 1 分		
		10	工件轮廓形状完整	3	不完整一处扣 2 分		
	反面 外形 轮廓 (26)	11	$36^{+0}_{-0.03}$ mm	4 × 2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		12	$\phi 56^{+0}_{-0.03}$ mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		13	$8^{+0.05}_{+0}$ mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		14	平行度 0.03mm	2 × 3	超差 0.01mm 扣 1 分		
		15	Ra3.2μm	2	超差一处扣 1 分		
		16	工件轮廓形状完整	2	不完整一处扣 2 分		
	孔 (18)	17	φ10H8	2 × 2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		18	(10 ± 0.03) mm	1 × 4	超差一处扣 1 分		
		19	$\phi 25^{+0.03}_{+0}$ mm (镗孔)	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		20	Ra1.6μm	2 × 3	超差一处扣 2 分		
	其他 (6)	21	工件按时完成	2	未按时完成全扣		
		22	工件无过切等缺陷	2	缺陷一处扣 2 分		
		23	工件去毛倒棱 C0.3mm	2	酌情扣 0 ~ 2 分		

(续)

工件编号			总得分			
项目与配分	序号	技术要求	配分	评分标准	检测记录	得分
程序与工艺 (倒扣分)	24	程序正确合理	倒扣	每错一处扣 1 分		
	25	加工工艺正确	倒扣	不合理每处扣 2 分		
机床操作 (倒扣分)	26	机床操作规范	倒扣	出错一次扣 2 分		
	27	工件、刀具装夹规范	倒扣	出错一次扣 2 分		
安全文明生产 (倒扣分)	28	安全操作	倒扣	因安全事故停止操作可酌情扣 5 ~ 30 分		
	29	整理机床	倒扣			

三、零件加工要求分析

1. 尺寸精度

本例中精度要求较高的尺寸主要有：外形尺寸 $78_{-0.03}^0\text{mm}$ ；内轮廓尺寸 $30_{+0}^{+0.03}\text{mm}$ ；薄壁厚度 $(1 \pm 0.04)\text{mm}$ ；深度尺寸 $6_{+0}^{+0.05}\text{mm}$ 和 $8_{+0}^{+0.05}\text{mm}$ ；厚度尺寸 $(10 \pm 0.05)\text{mm}$ 和 $(20 \pm 0.10)\text{mm}$ ；孔的尺寸 $\phi 10\text{H}8$ 、 $\phi 25_{+0}^{+0.03}\text{mm}$ 等。

对于尺寸精度要求，主要通过加工过程中的精确对刀，正确选用刀具的磨损量和正确选用合适的加工工艺等措施来保证。

2. 几何精度

本例中主要的几何精度有：上面各加工表面相对于工件底平面的平行度等。

对于几何精度要求，在对刀精确的情况下，主要通过工件在夹具中的正确安装、找正等措施来保证。

3. 表面粗糙度

本例工件中，所有轮廓加工表面的表面粗糙度要求为 $Ra3.2\mu\text{m}$ ，所有孔加工表面的表面粗糙度要求为 $Ra1.6\mu\text{m}$ 。

对于表面粗糙度要求，主要通过选用正确的粗、精加工路线，选用合适的切削用量等措施来保证。

四、零件加工

1. 零件装夹与找正

由于工件外形轮廓以工件中心对称，根据编程原点的确定原则，在 G17 平面内编程原点取在工件的对称中心，Z 向编程原点取在工件的上表面。

由于该工件为单件加工，所以在加工过程中选用通用夹具进行定位与装夹。本例根据加工要求选用精密机用虎钳作为夹具，首先找正机用虎钳钳口与坐标轴方向的平行度，然后进行工件装夹。工件装夹后，要找正工件上表面的平行度，然后找正工件中心，并将该点设为工件坐标系的原点。

2. 工件基点的计算

本例工件选择 Mastercam 软件或 CAXA 制造工程师软件进行基点坐标分析，得出的局部基点坐标如图 1-3 所示。

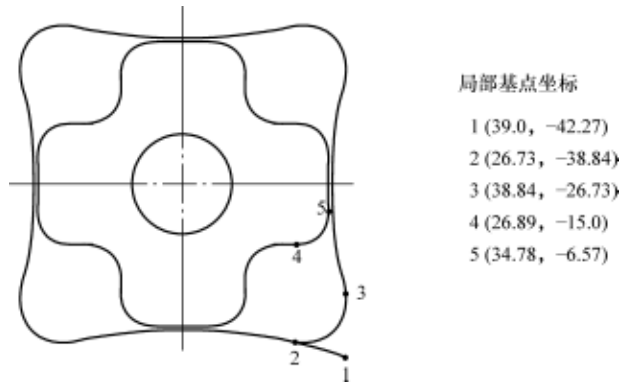


图 1-3 局部基点坐标

3. 参考程序

本例工件的参考程序见表 1-3。

表 1-3 职业技能鉴定样例 1 参考程序

FANUC 0i 系统程序	SIEMENS 802D 系统程序	程序说明
O0011;	AA011. MPF	正面轮廓加工程序
G90 G94 G21 G40 G54 F150;	G90 G94 G71 G40 G54 F150	程序初始化
G91 Z28 Z0;	G74 Z0	Z 向返回参考点
M03 S800;	T1D1 M03 S800	主轴正转，转速为 800r/min
G90 G00 X50.0 Y-50.0 M08;	G00 X50.0 Y-50.0 M08	定位至起刀点
Z20.0;	Z20.0	
G01 Z-10.5;	G01 Z-10.5	
G41 G01 X39.0 Y-42.27 D01;	G41 G01 X39.0 Y-42.27	延长线上建立刀具补偿
G03 X-26.73 Y-38.84 R119.0;	G03 X-26.73 Y-38.84 CR=119.0	加工外形轮廓
G02 X-38.84 Y-26.73 R10.0;	G02 X-38.84 Y-26.73 CR=10.0	
G03 Y26.73 R119.0;	G03 Y26.73 CR=119.0	
G02 X-26.73 Y38.84 R10.0;	G02 X-26.73 Y38.84 CR=10.0	
G03 X26.73 R119.0;	G03 X26.73 CR=119.0	
G02 X38.84 Y26.73 R10.0;	G02 X38.84 Y26.73 CR=10.0	
G03 Y-26.73 R119.0;	G03 Y-26.73 CR=119.0	
G02 X26.73 Y-38.84 R10.0;	G02 X26.73 Y-38.84 CR=10.0	

(续)

FANUC 0i 系统程序	SIEMENS 802D 系统程序	程序说明
G40 G01 X50.0 Y-50.0;	G40 G01 X50.0 Y-50.0	取消刀具半径补偿
G91 G28 Z0 M09;	G74 Z0 M09	Z 向返回参考点
M05;	M05	程序结束部分
M30	M02	
O0012;	AA012. MPF	
G90 G94 G21 G40 G54 F150;	G90 G94 G71 G40 G54 F150	程序初始化
G91 G28 Z0;	G74 Z0	Z 向返回参考点
M03 S800;	T2D1 M03 S800	主轴正转, 转速为 800r/min
G90 G00 X0 Y0 M08;	G00 X0 Y0 M08	刀具定位
Z20.0;	Z20.0	
G01 Z-6.0;	G01 Z-6.0	
G41 G01 Y-15.0 D01;	G41 G01 Y-15.0	建立刀具补偿
G01 X26.89;	G01 X26.89	加工内轮廓
G03 X34.78 Y-6.57 R8.0;	G03 X34.78 Y-6.57 CR=8.0	
G02 Y6.57 R120.0;	G02 Y6.57 CR=120.0	
G03 X26.89 Y15.0 R8.0;	G03 X26.89 Y15.0 CR=8.0	
G01 X23.0;	G01 X23.0	
G02 X15.0 Y23.0 R8.0;	G02 X15.0 Y23.0 CR=8.0	
G01 Y26.89;	G01 Y26.89	
G03 X6.57 Y34.78 R8.0;	G03 X6.57 Y34.78 CR=8.0	
G02 X-6.57 R120.0;	G02 X-6.57 CR=120.0	
G03 X-15.0 Y26.89 R8.0;	G03 X-15.0 Y26.89 CR=8.0	
G01 Y23.0;	G01 Y23.0	
G02 X-23.0 Y15.0 R8.0;	G02 X-23.0 Y15.0 CR=8.0	
G01 X-26.89;	G01 X-26.89	
G03 X-34.78 Y6.57 R8.0;	G03 X-34.78 Y6.57 CR=8.0	
G02 Y-6.57 R120.0;	G02 Y-6.57 CR=120.0	
G03 X-26.89 Y-15.0 R8.0;	G03 X-26.89 Y-15.0 CR=8.0	
G01 X-23.0;	G01 X-23.0	
G02 X-15.0 Y-23.0 R8.0;	G02 X-15.0 Y-23.0 CR=8.0	
G01 Y-26.89;	G01 Y-26.89	
G03 X-6.57 Y-34.78 R8.0;	G03 X-6.57 Y-34.78 CR=8.0	
G02 X6.57 R120.0;	G02 X6.57 CR=120.0	
G03 X15.0 Y-26.89 R8.0;	G03 X15.0 Y-26.89 CR=8.0	
G01 Y-23.0;	G01 Y-23.0	
G02 X23.0 Y-15.0 R8.0;	G02 X23.0 Y-15.0 CR=8.0	

(续)

FANUC Oi 系统程序	SIEMENS 802D 系统程序	程序说明
G40 G01 X0 Y0;	G40 G01 X0 Y0	取消刀具半径补偿
G91 G28 Z0 M09;	G74 Z0 M09	Z 向返回参考点
M05;	M05	程序结束部分
M30;	M02	
O0013;	AA013. MPF	精铰孔程序
G90 G94 G21 G40 G54 F80;	G90 G94 G71 G40 G54 F80	程序开始部分
G91 G28 Z0;	G74 Z0	
M03 S200;	T1D1 M03 S2001	
G90 G00 X0 Y0 M08;	G00 X0 Y0 M08	刀具定位
Z30.0;	Z30.0	
G85 X-29.0 Y29.0 Z-23.0 R5.0 F80;	MCALL CYCLE85 (30.0, 0, 5.0, -23.0, , 0, 80, 200)	模态调用孔加工程序 加工两个孔
X29.0 Y-29.0;	X-29.0 Y29.0	
	X29.0 Y-29.0	
G80;	MCALL	
G91 G28 Z0 M09;	G74 Z0 M09	程序结束部分
M30;	M02	
O0014;	AA014. MPF	精镗孔程序
G90 G94 G21 G40 G54 F80;	G90 G94 G71 G40 G54 F80	程序开始部分
G91 G28 Z0;	G74 Z0	
M03 S800;	T1D1 M03 S800	
G90 G00 X0 Y0 M08;	G00 X0 Y0 M08	刀具定位
Z30.0;	Z30.0	
G76 X0 Y0 Z-22.0 R3.0 Q1000 P1000 ;	CYCLE86 (20.0, 0, 3.0, -22.0, , 1.0, 3, 0.5, 0, 0.5, 180.0)	精镗孔
G91 G28 Z0 M09;	G74 Z0 M09	程序结束部分
M30;	M02	

注：请自行编写中心钻定位、钻孔和扩孔的加工程序。

五、样例小结

加工本例工件时，首先加工反面轮廓，即 $36_{-0.03}^0\text{ mm} \times 36_{-0.03}^0\text{ mm}$ 四方体、 $\phi 56_{-0.03}^0\text{ mm}$ 外圆柱面、 $\phi 25_{+0.03}^0\text{ mm}$ 内孔，然后以四方体作为装夹基准面，同时以内孔作为找正平面，以保证正面加工轮廓与反面轮廓的平行度或垂直度，从而保证本例工件的各项关联尺寸和几何公差要求，例如尺寸 $(10 \pm 0.05)\text{ mm}$ 、 $(20 \pm 0.10)\text{ mm}$ 等。

由于数控技能训练和等级工考试均为单件生产，为了方便对程序进行调试和修改，建议将各部分加工内容编写成单独程序。例如，本例中的内轮廓和外轮廓的加工程序为不同的加工程序。

职业技能鉴定样例



考核目标

- ◆ 复杂零件图的识读；
- ◆ 复杂零件的加工工艺分析；
- ◆ 孔加工刀具的选择；
- ◆ 孔加工精度分析。

一、考核要求

加工图 2-1 所示零件（坯件尺寸为 80mm × 80mm × 21mm），试分析其加工工艺并编写其数控铣加工程序。

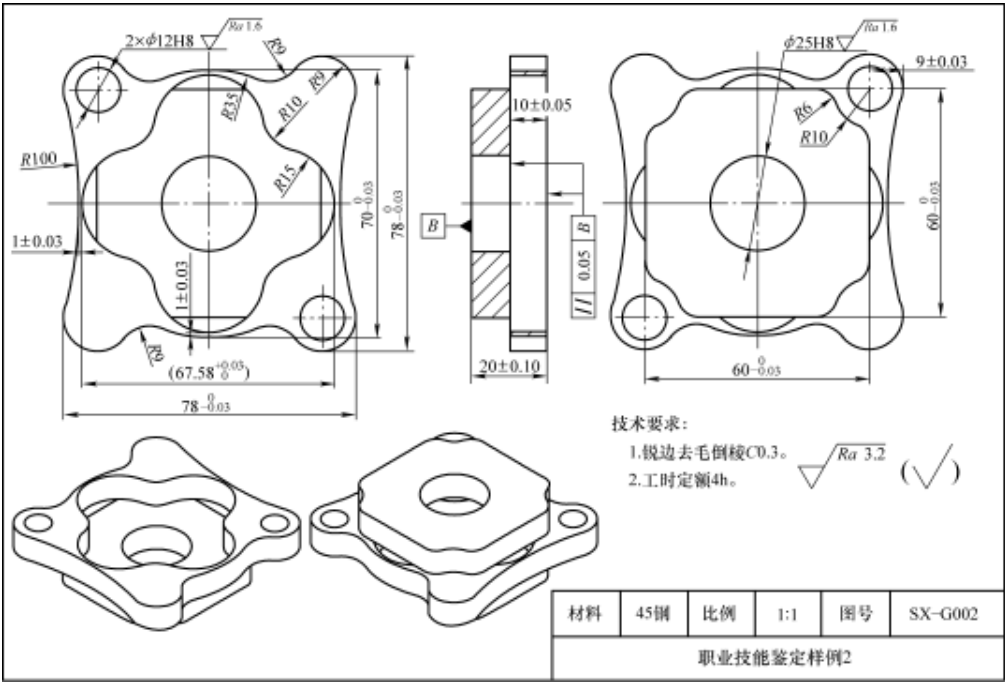


图 2-1 职业技能鉴定样例 2

二、加工准备与加工要求

1. 加工准备

本样例选择 TK7650 型 FANUC 0i 系统或 SIEMENS 802D 数控铣床或加工中心



进行加工，编程方式采用手工编程，换刀方式采用手动换刀。

加工中使用的刀具、量具和工具参照表 1-1 进行配置，零件毛坯参照图 1-2 进行配置。

2. 加工要求

本样例的工时定额（包括编程与手动输入程序）为 4h，其加工要求见表 2-1。

表 2-1 职业技能鉴定样例 2 评分表

工件编号				总得分			
项目与配分		序号	技术要求	配分	评分标准	检测记录	得分
工件加工评分 (100)	正面 外形 轮廓 (52)	1	$78 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.03 \end{smallmatrix} \text{mm}$	4 × 2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		2	$70 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.03 \end{smallmatrix} \text{mm}$	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		3	(1 ± 0.03) mm	4 × 2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		4	(67.58 $\begin{smallmatrix} +0.03 \\ 0 \end{smallmatrix}$) mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		5	(10 ± 0.05) mm	4	超差 0.02mm 扣 1 分		
		6	平行度 0.05mm	4 × 2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		7	(20 ± 0.10) mm	4	超差 0.02mm 扣 1 分		
		8	R9mm、R35mm、R100mm 等	4	超差一处扣 1 分		
		9	Ra3.2μm	4	超差一处扣 1 分		
		10	工件轮廓形状完整	4	不完整一处扣 2 分		
	反面 外形 轮廓 (16)	11	$60 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.03 \end{smallmatrix} \text{mm}$	4 × 2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		12	Ra3.2μm	3	超差一处扣 1 分		
		13	R6mm、R10mm 等	2	超差一处扣 1 分		
		14	工件轮廓形状完整	3	不完整一处扣 2 分		
	孔 (25)	15	φ12H8	3 × 2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		16	(9 ± 0.03) mm	1 × 4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		17	φ25H8 (镗孔)	6	超差 0.01mm 扣 1 分		
		18	Ra1.6μm	2 × 3	超差一处扣 2 分		
		19	工件轮廓形状完整	3	不完整一处扣 2 分		
	其他 (7)	20	工件按时完成	2	未按时完成全扣		
		21	工件无过切等缺陷	2	缺陷一处扣 2 分		
		22	工件去毛倒棱 C0.3	3	酌情扣 0 ~ 3 分		
程序与工艺 (倒扣分)		23	程序正确合理	倒扣	每错一处扣 1 分		
		24	加工工艺正确	倒扣	不合理每处扣 2 分		
机床操作 (倒扣分)		25	机床操作规范	倒扣	出错一次扣 2 分		
		26	工件、刀具装夹规范	倒扣	出错一次扣 2 分		
安全文明生产 (倒扣分)		27	安全操作	倒扣	因安全事故停止操作可酌		
		28	整理机床	倒扣	情扣 5 ~ 30 分		

三、相关知识

1. 孔加工刀具的选择技巧

在数控机床上，常用的孔加工方式有钻孔、扩孔、铰孔、镗孔和铰孔等，常用的孔加工工具有钻头、铰刀和镗刀等。

(1) 钻头 如图 2-2 所示，加工中心常用的钻头有中心钻、标准麻花钻、扩孔钻、铰孔钻等。麻花钻由工作部分和柄部组成。工作部分包括切削部分和导向部分，而柄部有莫氏锥柄和圆柱柄两种。刀具材料常使用高速钢和硬质合金。

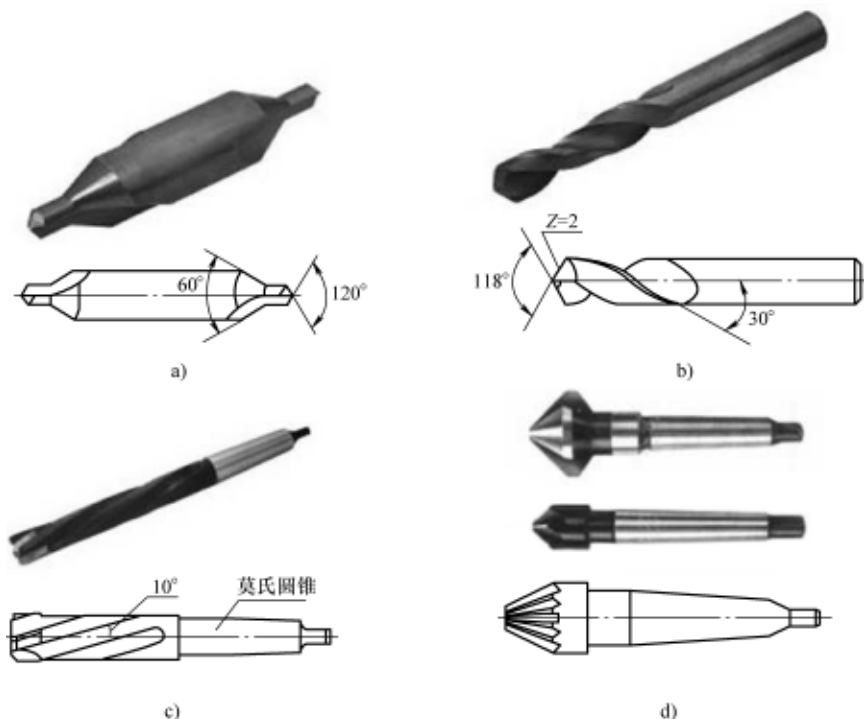


图 2-2 常用钻头

a) 中心钻 b) 标准麻花钻 c) 扩孔钻 d) 铰孔钻

(2) 铰刀 如图 2-3 所示，标准铰刀有 4~12 齿，由工作部分、空刀和柄部三部分组成。铰刀工作部分包括切削部分与校准部分。切削部分为锥形，担负主要切削工作。整体式铰刀的柄部有直柄和锥柄之分，直径较小的铰刀一般做成直柄形式，大直径铰刀常做成锥柄形式。

铰孔的加工精度可达 IT6~IT9 级，表面粗糙度可达 $Ra0.8 \sim 1.6 \mu\text{m}$ 。

(3) 镗刀 如图 2-4 所示，镗孔所用刀具为镗刀。镗刀种类很多，按加工精度不同，可分为粗镗刀和精镗刀。

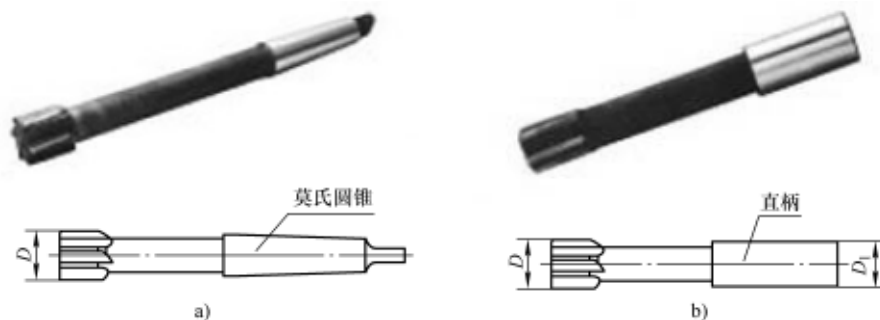


图 2-3 铰刀

a) 锥柄铰刀 b) 直柄铰刀

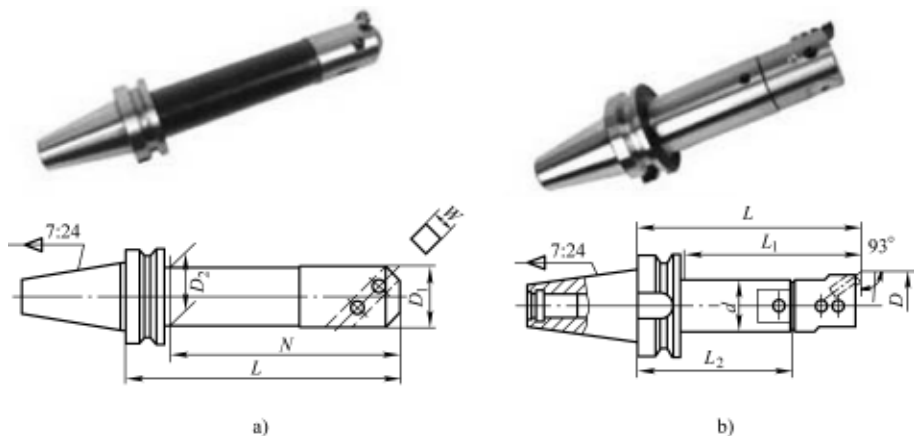


图 2-4 镗刀

a) 粗镗刀 b) 精镗刀

粗镗刀镗孔时，所镗孔径的大小要靠调整刀头的悬伸长度来保证，调整麻烦，效率低，大多用于单件小批量生产。精镗刀目前较多地选用精镗可调镗刀和微调精镗刀。这种镗刀的径向尺寸可以在一定范围内进行微调，调节方便，且精度高。

粗镗刀和精镗刀选用的刀头如图 2-5 所示，刀具磨损后，直接更换刀头。

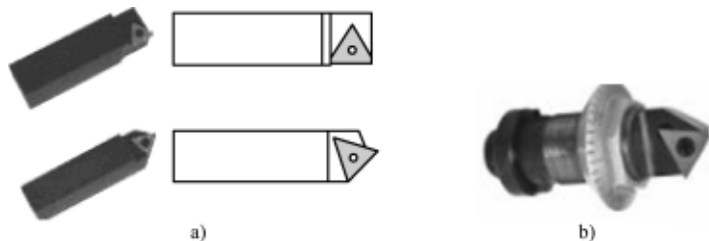


图 2-5 镗刀刀头

a) 粗镗刀刀头 b) 精镗刀刀头

2. 孔加工难点分析

(1) 孔加工技巧 加工孔系时,在钻孔前通常先用中心钻进行定位,从而保证孔系加工后的孔距等位置精度。当加工深度较大的孔时,如直接钻孔至孔底,则钻头容易折断,为此,在加工过程中应多次进退加工,以利于冷却和排屑。铰孔加工时,由于铰孔过程中容易产生振动,应采用较短的铰刀进行加工,以提高刀具的刚性。

对于精度较低(IT8级以下,表面粗糙度值大于或等于 $Ra3.2\mu m$)且直径较小的标准系列孔,可采用直接钻孔的方式进行加工。对于精度较高(精度为IT8~IT6级,表面粗糙度值在 $Ra1.6\mu m$ 以下)的小直径标准系列孔,可在钻孔后直接用铰刀进行铰孔加工。对于精度较高且直径较小的非标准系列孔,加工方法有两种。如果批量较小,可用小直径镗刀进行加工;如果批量较大,则可订制非标准铰刀进行铰孔加工。

对于精度较高的大直径孔,通常采用精镗孔的加工方式进行加工。精加工前的粗加工有多种加工方式,当批量较小时,可采用钻孔和铰孔的方式进行粗加工;当批量较大时,可采用钻孔和粗镗孔的方式进行粗加工。

(2) 镗孔加工难点分析 镗孔加工的关键技术是解决镗刀杆的刚性问题和排屑问题。对于刚性问题的解决方案主要有以下三个方面:

1) 选择截面积大的刀杆。镗刀刀杆的截面积通常为内孔截面积的 $1/4$,因此,为了增加刀杆的刚性,应根据所加工孔的直径和预孔的直径,尽可能选择截面积大的刀杆。

通常情况下,孔径在 $\phi 30 \sim \phi 120mm$ 范围内,镗刀杆直径一般为孔径的 $0.7 \sim 0.8$ 。孔径小于 $\phi 30mm$ 时,镗刀杆直径取孔径的 $0.8 \sim 0.9$ 。

2) 刀杆的伸出长度尽可能短。镗刀刀杆伸得太长,会降低刀杆刚性,容易引起振动。因此,为了增加刀杆的刚性,选择刀杆长度时,只需选择刀杆伸出长度略大于孔深即可。

3) 选择合适的切削角度。为了减小切削过程中由于受背向力作用而产生振动,镗刀的主偏角一般选得较大。镗铸铁孔或精镗时,一般取 $\kappa_r = 90^\circ$;粗镗钢件孔时,取 $\kappa_r = 60^\circ \sim 75^\circ$,以延长刀具的寿命。

排屑问题主要通过控制切屑流出方向来解决。精镗孔时,要求切屑流向待加工表面(即前排屑),此时,选择正刃倾角的镗刀。加工盲孔时,通常向刀杆方向排屑,此时,选择负刃倾角的镗刀。

3. 孔加工精度分析

(1) 钻孔与铰孔精度及误差分析 钻孔与铰孔时,由于刀具参数、切削用量、加工工艺选择不当,钻孔与铰孔的尺寸精度和孔壁精度常产生误差。常见的钻孔、铰孔尺寸精度差与表面粗糙度值较大的原因分析见表2-2。

表 2-2 钻孔、铰孔尺寸精度差与表面粗糙度值较大的原因分析

项目	出现问题	产生原因
钻孔	孔大于规定尺寸	钻头两切削刃不对称，长度不一致
		钻头本身的质量问题
		工件装夹不牢固，加工过程中工件松动或振动
	孔壁粗糙	钻头不锋利
		进给量过大
		切削液选用不当或供应不足
		加工过程中排屑不畅通
	孔歪斜	工件装夹后找正不正确，基准面与主轴不垂直
		进给量过大，使钻头弯曲变形
	钻孔呈多边形或孔位偏移	对刀不正确
		钻头角度不对
		钻头两切削刃不对称，长度不一致
铰孔	孔径扩大	铰孔中心与底孔中心不一致
		进给量或铰削余量过大
		切削速度太快，铰刀热膨胀
		切削液选用不当或没加切削液
	孔径缩小	铰刀磨损或铰刀已钝
		铰铸铁材料
	孔呈多边形	铰削余量太大，铰刀振动
		铰孔前钻孔不圆
	表面粗糙度值较大	铰孔余量太大或太小
		铰刀切削刃不锋利
		切削液选用不当或没加切削液
		切削速度过快，产生积屑瘤
		孔加工固定循环选择不合适，进退刀方式不合理
		容屑槽内切屑堵塞

（2）镗孔精度分析 镗孔加工过程中产生的误差现象与产生原因见表 2-3。

表 2-3 镗孔误差分析表

出现问题	产生原因
表面粗糙度值较大	镗刀刀尖角或刀尖圆弧太小
	进给量过大或切削液使用不当
	工件装夹不牢固，加工过程中工件松动或振动
	镗刀刀杆刚性差，加工过程中产生振动
	精加工时采用不合适的镗孔固定循环，进退刀时划伤工件表面

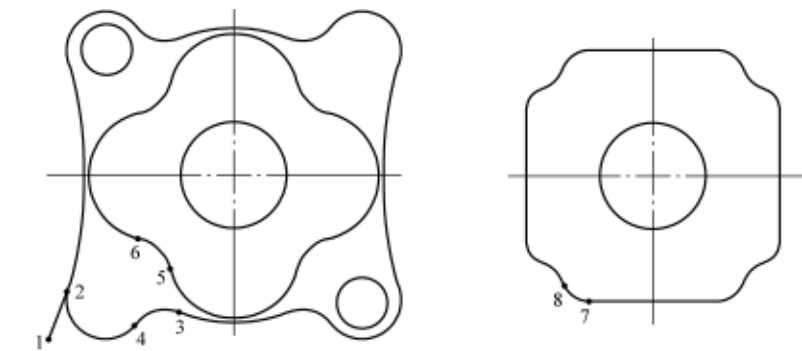
(续)

出现问题	产生原因
孔径超差或孔呈锥形	镗刀回转半径调整不当，与所加工孔直径不符
	测量不正确
	镗刀在加工过程中磨损
	镗刀刚性不足，镗刀让刀
	镗刀刀头锁紧不牢固
孔轴线与基准面不垂直	工件装夹与找正不正确
	工件定位基准选择不当

四、零件加工

1. 工件局部基点的计算

本例工件选择 Mastercam 软件或 CAXA 制造工程师软件进行基点坐标分析，得出的局部基点坐标如图 2-6 所示。



局部基点坐标:

1 (-39.0, -42.71), 2 (-38.65, -27.52), 3 (-12.57, -32.66)
4 (-22.90, -35.53), 5 (-14.65, -22.21), 6 (-22.17, -14.61)
7 (-15.17, -30.0), 8 (-26.25, -20.73)

图 2-6 局部基点坐标

2. 参考程序

本例工件的参考程序见表 2-4。

表 2-4 职业技能鉴定样例 2 参考程序

FANUC 0i 系统程序	SIEMENS 802D 系统程序	程序说明
O0021;	AA021.MPF	反面轮廓加工程序
G90 G94 G21 G40 G54 F150;	G90 G94 G71 G40 G54 F150	程序初始化
G91 G28 Z0;	G74 Z0	Z 向返回参考点



(续)

FANUC 0i 系统程序	SIEMENS 802D 系统程序	程序说明
M03 S600;	T1D1 M03 S600	主轴正转, 转速为 600r/min
G90 G00 X-50.0 Y-50.0 M08;	G00 X-50.0 Y-50.0 M08	定位至起刀点
Z20.0;	Z20.0	
G01 Z-10.0;	G01 Z-10.0	
G41 G01 X-30.0 Y-50.0 D01;	G41 G01 X-30.0 Y-50.0	延长线上建立刀具 补偿
G01 Y15.17;	G01 Y15.17	加工外形轮廓
G02 X-26.25 Y20.73 R6.0;	G02 X-26.25 Y20.73 CR=6.0	
G03 X-20.73 Y26.25 R10.0;	G03 X-20.73 Y26.25 CR=10.0	
G02 X-15.17 Y30.0 R6.0;	G02 X-15.17 Y30.0 CR=6.0	
G01 X15.17;	G01 X15.17	
G02 X20.73 Y26.25 R6.0;	G02 X20.73 Y26.25 CR=6.0	
G03 X26.25 Y20.73 R10.0;	G03 X26.25 Y20.73 CR=10.0	
G02 X30.0 Y15.17 R6.0;	G02 X30.0 Y15.17 CR=6.0	
G01 Y-15.17;	G01 Y-15.17	
G02 X26.25 Y-20.73 R6.0;	G02 X26.25 Y-20.73 CR=6.0	
G03 X20.73 Y-26.25 R10.0;	G03 X20.73 Y-26.25 CR=10.0	
G02 X15.17 Y-30.0 R6.0;	G02 X15.17 Y-30.0 CR=6.0	
G01 X-15.17;	G01 X-15.17	
G02 X-20.73 Y-26.25 R6.0;	G02 X-20.73 Y-26.25 CR=6.0	
G03 X-26.25 Y-20.73 R10.0;	G03 X-26.25 Y-20.73 CR=10.0	
G02 X-30.0 Y-15.17 R6.0;	G02 X-30.0 Y-15.17 CR=6.0	
G40 G01 X-50.0 Y-50.0;	G40 G01 X-50.0 Y-50.0	取消刀具半径补偿
G91 G28 Z0 M09;	G74 Z0 M09	Z 向返回参考点
M05;	M05	程序结束部分
M30;	M02	
O0022;	AA022. MPF	正面内外轮廓加工 程序
G90 G94 G21 G40 G54 F150;	G90 G94 G71 G40 G54 F150	程序初始化
G91 G28 Z0;	G74 Z0	Z 向返回参考点
M03 S1000;	T2D1 M03 S1000	主轴正转, 转速为 1000r/min
G90 G00 X-50.0 Y-50.0 M08;	G00 X-50.0 Y-50.0 M08	加工外轮廓

(续)

FANUC 0i 系统程序	SIEMENS 802D 系统程序	程序说明
Z20.0;	Z20.0	
G01 Z-10.0;	G01 Z-10.0	
G41 G01 X-39.0 Y-42.71 D01;	G41 G01 X-39.0 Y-42.71	
G03 X-38.65 Y27.52 R100.0;	G03 X-38.65 Y27.52 CR=100.0	
G02 X-22.90 Y35.53 R9.0;	G02 X-22.90 Y35.53 CR=9.0	
G03 X-12.57 Y32.66 R9.0;	G03 X-12.57 Y32.66 CR=9.0	
G02 X12.57 R35.0;	G02 X12.57 CR=35.0	
G03 X22.90 Y35.53 R9.0;	G03 X22.90 Y35.53 CR=9.0	
G02 X38.65 Y27.52 R9.0;	G02 X38.65 Y27.52 CR=9.0	
G03 Y-27.52 R100.0;	G03 Y-27.52 CR=100.0	
G02 X22.90 Y-35.53 R9.0;	G02 X22.90 Y-35.53 CR=9.0	
G03 X12.57 Y-32.66 R9.0;	G03 X12.57 Y-32.66 CR=9.0	
G02 X-12.57 R35.0;	G02 X-12.57 CR=35.0	
G03 X-22.90 Y-35.53 R9.0;	G03 X-22.90 Y-35.53 CR=9.0	
G02 X-38.65 Y-27.52 R9.0;	G02 X-38.65 Y-27.52 CR=9.0	
G40 G01 X-50.0 Y-50.0;	G40 G01 X-50.0 Y-50.0	取消刀具补偿
G00 Z5.0;	G00 Z5.0	刀具重新定位
X0 Y0;	X0 Y0	
G01 Z-10.0;	G01 Z-10.0	建立刀具补偿
G41 G01 X18.79 Y-15.0 D01;	G41 G01 X18.79 Y-15.0	
G03 X22.17 Y14.61 R15.0;	G03 X22.17 Y14.61 CR=15.0	加工内轮廓
G02 X14.61 Y22.17 R10.0;	G02 X14.61 Y22.17 CR=10.0	
G03 X-14.61 R15.0;	G03 X-14.61 CR=15.0	
G02 X-22.17 Y14.61 R10.0;	G02 X-22.17 Y14.61 CR=10.0	
G03 Y-14.61 R15.0;	G03 Y-14.61 CR=15.0	
G02 X-14.61 Y-22.17 R10.0;	G02 X-14.61 Y-22.17 CR=10.0	
G03 X14.61 R15.0;	G03 X14.61 CR=15.0	
G02 X22.17 Y-14.61 R10.0;	G02 X22.17 Y-14.61 CR=10.0	取消刀具半径补偿
G40 G01 X0 Y0;	G40 G01 X0 Y0	
G91 G28 Z0 M09;	G74 Z0 M09	Z 向返回参考点
M05;	M05	程序结束部分
M30;	M02	

注：孔加工程序参阅样例 1 的参考程序。



五、样例小结

在数控编程过程中,针对不同的数控系统,其数控程序的程序开始和程序结束是相对固定的,包括一些机床信息,如机床回零、工件零点设定、主轴启动、切削液开等功能,如上述程序 00021 中执行刀具补偿“G41”指令前的程序段。因此,在实际编程过程中,通常将数控程序的程序开始和程序结束编写成相对固定格式,从而减少编程工作量。

在实际编程过程中,由于程序段号在手工输入过程中会自动生成,因此程序段号可省略不写。

本例工件中有两个 $\phi 12H8$ 和一个 $\phi 25H8$ 的孔。由于数控铣床铣孔通常会产生失圆现象,无法保证孔的圆度要求,因此 $\phi 25H8$ 的孔须采用精镗孔方式进行精加工;两个 $\phi 12H8$ 孔须采用铰孔的方式进行精加工。

职业技能鉴定样例

3

考核目标

- ◆ 复杂零件图的识读；
- ◆ 复杂零件的加工工艺分析；
- ◆ 平面与轮廓加工刀具的选择；
- ◆ 轮廓加工精度分析。

一、考核要求

加工图 3-1 所示零件（坯件尺寸为 80mm × 80mm × 21mm），试分析其加工工艺并编写其数控铣加工程序。

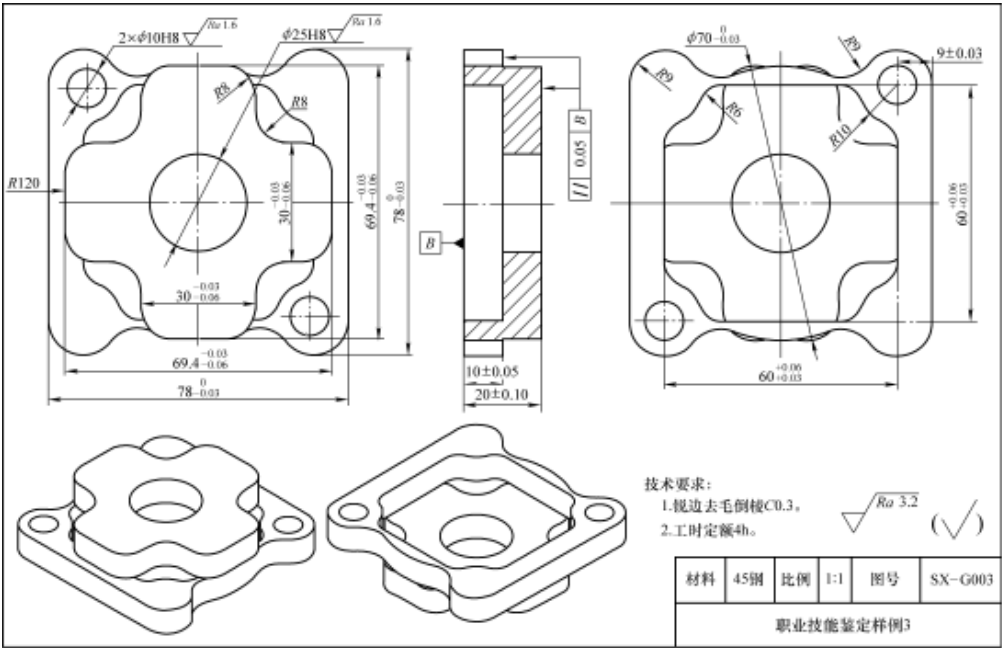


图 3-1 职业技能鉴定样例 3

二、加工准备与加工要求

1. 加工准备

本样例选择 TK7650 型 FANUC 0i 系统或 SIEMENS 802D 数控铣床或加工中心进行加工，编程方式采用手工编程，换刀方式采用手动换刀。



加工中使用的刀具、量具和工具参照表 1-1 进行配置,零件毛坯参照图 1-2 进行配置。

2. 加工要求

本样例的工时定额(包括编程与手动输入程序)为 4h,其加工要求见表 3-1。

表 3-1 职业技能鉴定样例 3 评分表

工件编号				总得分			
项目与配分		序号	技术要求	配分	评分标准	检测记录	得分
工件加工评分 (100)	正面 外形 轮廓 (38)	1	78 ⁰ _{-0.03} mm	4×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		2	60 ^{+0.06} _{+0.03} mm	4×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		3	φ70 ⁰ _{-0.03} mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		4	(10 ±0.05) mm	4	超差 0.02mm 扣 1 分		
		5	(20 ±0.10) mm	4	超差 0.02mm 扣 1 分		
		6	R10mm、R6mm 等	3	超差一处扣 1 分		
		7	Ra3. 2μm	4	超差一处扣 1 分		
		8	工件轮廓形状完整	3	不完整一处扣 2 分		
	反面 外形 轮廓 (32)	9	69.4 ^{-0.03} _{-0.06} mm	4×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		10	30 ^{-0.03} _{-0.06} mm	4×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		11	平行度 0.05mm	4×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		12	Ra3. 2μm	4	超差一处扣 1 分		
		13	R8mm、R120mm 等	2	超差一处扣 1 分		
		14	工件轮廓形状完整	2	不完整一处扣 2 分		
	孔 (24)	15	φ10H8	3×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		16	(9 ±0.03) mm	1×4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		17	φ25H8 (镗孔)	6	超差 0.01mm 扣 1 分		
		18	Ra1. 6μm	2×3	超差一处扣 2 分		
		19	工件轮廓形状完整	2	不完整一处扣 2 分		
	其他 (6)	20	工件按时完成	2	未按时完成全扣		
		21	工件无过切等缺陷	2	缺陷一处扣 2 分		
		22	工件去毛倒棱 C0.3mm	2	酌情扣 0 ~2 分		
程序与工艺 (倒扣分)		23	程序正确合理	倒扣	每错一处扣 1 分		
		24	加工工艺正确	倒扣	不合理每处扣 2 分		
机床操作 (倒扣分)		25	机床操作规范	倒扣	出错一次扣 2 分		
		26	工件、刀具装夹规范	倒扣	出错一次扣 2 分		
安全文明生产 (倒扣分)		27	安全操作	倒扣	因安全事故停止操作可酌		
		28	整理机床	倒扣	情扣 5 ~30 分		

三、相关知识

1. 平面与轮廓加工刀具简介

平面与轮廓加工刀具的种类很多,在实际加工时,通常根据不同的加工轮廓形

状来选择刀具。

(1) 面铣刀 面铣刀主要用于加工平面。如图 3-2 所示, 面铣刀的圆周表面和端面上都有切削刃, 端部切削刃为副切削刃。

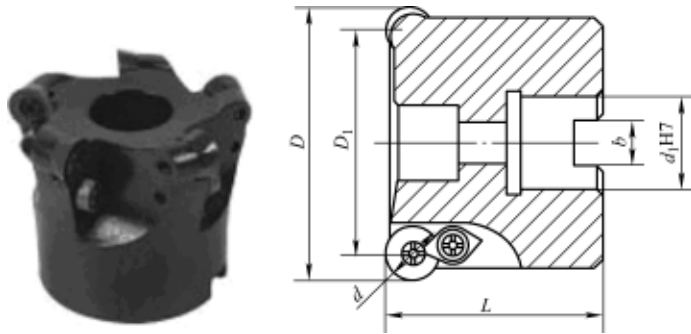


图 3-2 面铣刀

(2) 立铣刀 立铣刀是数控机床上用得最多的一种铣刀。如图 3-3 所示, 立铣刀的圆柱表面和端面上都有切削刃, 圆柱表面的切削刃为主切削刃, 端面上的切削刃为副切削刃, 它们可同时进行切削, 也可单独进行切削。主切削刃一般为螺旋齿, 这样可以增加切削平稳性, 提高加工精度。由于普通立铣刀端面中心处无切削刃, 所以立铣刀不能作轴向进给, 端面刃主要用来加工与侧面相垂直的底平面。

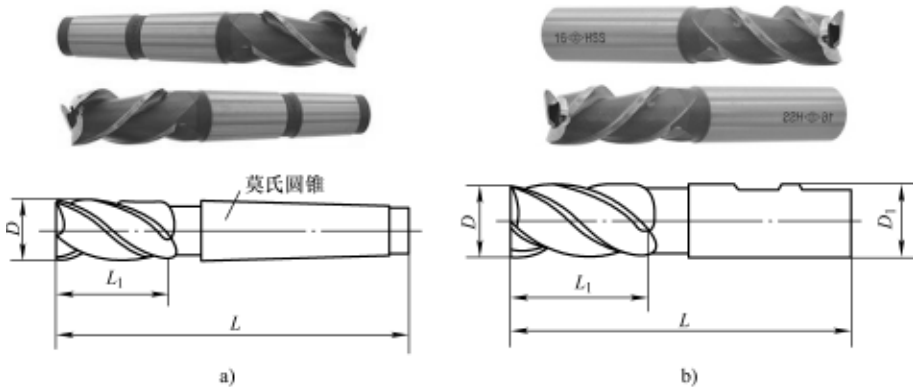


图 3-3 立铣刀

a) 锥柄立铣刀 b) 直柄立铣刀

(3) 键槽铣刀 如图 3-4 所示, 键槽铣刀一般只有两个刀齿, 圆柱面和端面都有切削刃, 端面刃延伸至中心, 既像立铣刀, 又像钻头。加工时先轴向进给达到槽深, 然后沿键槽方向铣出键槽全长。

2. 平面与轮廓加工刀具的选择技巧

在数控铣床或加工中心上加工平面时, 应采用可转位式硬质合金面铣刀进行加工。加工过程一般进行两次切削, 一次粗加工和一次精加工。粗加工时, 应选择较

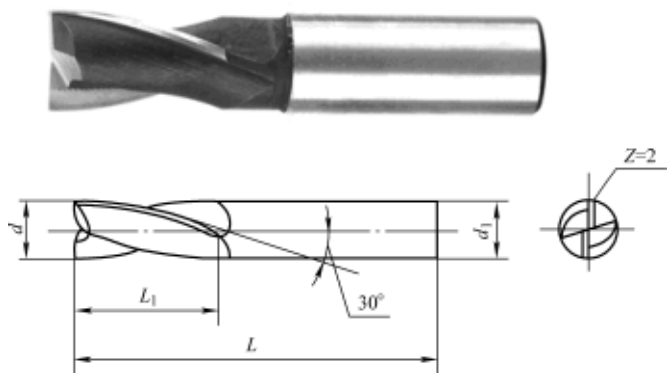


图 3-4 键槽铣刀

小直径的面铣刀，以减小切削扭矩。精加工时，应选择较大直径的面铣刀，刀具直径最好能大于待加工表面的加工宽度，以保证加工质量。此外，当加工余量大或加工余量不均匀时，应选择较小直径的面铣刀，以减小粗加工表面的接刀痕迹。

加工外轮廓时，可直接在轮廓之外进行 Z 向进刀，通常选用立铣刀进行加工。加工内轮廓时，如需进行 Z 向切深进刀时，需采用键槽铣刀进行加工。另外，加工精度要求较高的标准键槽时，既可直接用键槽铣刀进行加工，也可用比键槽尺寸小的立铣刀采用轮廓铣削的方式进行加工。

3. 轮廓加工质量分析

（1）轮廓加工精度降低的原因分析 轮廓铣削精度主要包括尺寸精度、几何精度及表面粗糙度。轮廓铣削加工过程中产生精度降低的原因是多方面的，在实际加工过程中，造成尺寸精度降低的常见原因见表 3-2，造成几何精度降低的常见原因见表 3-3，造成表面粗糙度值增大的常见原因见表 3-4。

表 3-2 数控铣尺寸精度降低的原因分析

影响因素	序号	产生原因
装夹与找正	1	工件装夹不牢固，加工过程中产生松动与振动
	2	工件找正不正确
刀具	3	刀具尺寸不正确或产生磨损
	4	对刀不正确，工件的位置尺寸产生误差
	5	刀具刚性差，刀具加工过程中产生振动
加工	6	切削深度过大，导致刀具发生弹性变形，加工面呈锥形
	7	刀具补偿参数设置不正确
	8	精加工余量选择过大或过小
	9	切削用量选择不当，导致切削力、切削热过大，从而产生热变形和内应力
工艺系统	10	机床原理误差
	11	机床几何误差
	12	工件定位不正确或夹具与定位元件制造误差

表 3-3 数控铣几何精度降低的原因分析

影响因素	序号	产生原因
装夹与找正	1	工件装夹不牢固，加工过程中产生松动与振动
	2	夹紧力过大，产生弹性变形，切削完成后变形恢复
	3	工件找正不正确，造成加工面与基准面不平行或不垂直
刀具	4	刀具刚性差，刀具加工过程中产生振动
	5	对刀不正确，产生位置精度误差
加工	6	切削深度过大，导致刀具发生弹性变形，加工面呈锥形
	7	切削用量选择不当，导致切削力过大，从而产生工件变形
工艺系统	8	夹具装夹找正不正确（如本任务中钳口找正不正确）
	9	机床几何误差
	10	工件定位不正确或夹具与定位元件制造误差

表 3-4 表面粗糙度影响因素分析

影响因素	序号	产生原因
装夹与找正	1	工件装夹不牢固，加工过程中产生振动
刀具	2	刀具磨损后没有及时修磨
	3	刀具刚性差，刀具加工过程中产生振动
	4	主偏角、副偏角及刀尖圆弧半径选择不当
加工	5	进给量选择过大，残留面积高度增大
	6	切削速度选择不合理，产生积屑瘤
	7	背吃刀量（精加工余量）选择过大或过小
	8	Z 向分层切深后没有进行精加工，留有接刀痕迹
	9	切削液选择不当或使用不当
	10	加工过程中刀具停顿
加工工艺	11	工件材料热处理不当或热处理工艺安排不合理
	12	采用不适当的进给路线，精加工采用逆铣

（2）提高加工精度的方法 轮廓加工过程中，工艺系统所产生的精度降低可通过对机床和夹具的调整来解决。刀具、加工工艺及加工零件对加工精度的影响是由于操作者对刀具角度参数、切削用量、加工工艺等加工要素选择不当造成的。因此，对于操作者来说，提高数控机床的操作技能（包括选择合适的加工参数）是提高加工质量的关键。

四、零件加工

1. 工件局部基点的计算

本例工件选择 Mastercam 软件或 CAXA 制造工程师软件进行基点坐标分析，得

出的局部基点坐标如图 3-5 所示。

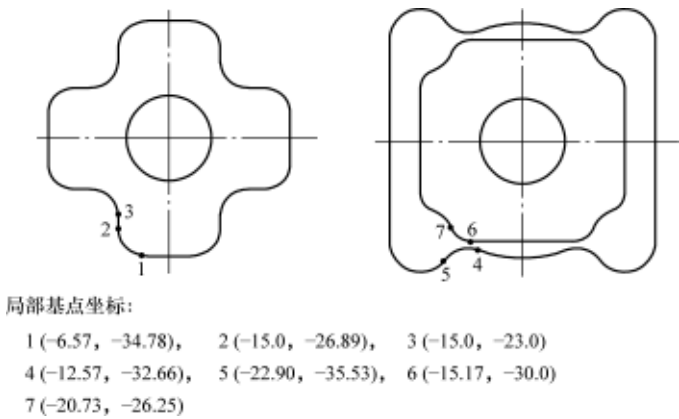


图 3-5 局部基点坐标

2. 参考程序

本例工件的参考程序见表 3-5。

表 3-5 职业技能鉴定样例 3 参考程序

FANUC 0i 系统程序	SIEMENS 802D 系统程序	程序说明
O0031;	AA031. MPF	正面内外轮廓加工程序
G90 G94 G21 G40 G54 F150;	G90 G94 G71 G40 G54 F150	程序初始化
G91 G28 Z0;	G74 Z0	Z 向返回参考点
M03 S1000;	T2D1 M03 S1000	主轴正转, 转速为 1000r/min
G90 G00 X-50.0 Y-50.0 M08;	G00 X-50.0 Y-50.0 M08	加工外轮廓
Z20.0;	Z20.0	
G01 Z-10.0;	G01 Z-10.0	
G41 G01 X-39.0 Y-42.71 D01;	G41 G01 X-39.0 Y-42.71	
G01 Y30.0;	G01 Y30.0	
G02 X-22.90 Y35.53 R9.0;	G02 X-22.90 Y35.53 CR=9.0	
G03 X-12.57 Y32.66 R9.0;	G03 X-12.57 Y32.66 CR=9.0	
G02 X12.57 R35.0;	G02 X12.57 CR=35.0	
G03 X22.90 Y35.53 R9.0;	G03 X22.90 Y35.53 CR=9.0	
G02 X39.0 Y30.0 R9.0;	G02 X39.0 Y30.0 CR=9.0	
G01 Y-30.0;	G01 Y-30.0	
G02 X22.90 Y-35.53 R9.0;	G02 X22.90 Y-35.53 CR=9.0	
G03 X12.57 Y-32.66 R9.0;	G03 X12.57 Y-32.66 CR=9.0	
G02 X-12.57 R35.0;	G02 X-12.57 CR=35.0	
G03 X-22.90 Y-35.53 R9.0;	G03 X-22.90 Y-35.53 CR=9.0	
G02 X-39.0 Y-30.0 R9.0;	G02 X-39.0 Y-30.0 CR=9.0	

(续)

FANUC 0i 系统程序	SIEMENS 802D 系统程序	程序说明
G40 G01 X -50.0 Y -50.0;	G40 G01 X -50.0 Y -50.0	取消刀具补偿
G00 Z5.0;	G00 Z5.0	刀具重新定位
X0 Y0;	X0 Y0	
G01 Z -10.0;	G01 Z -10.0	
G41 G01 X9.17 Y -24.0 D01;	G41 G01 X9.17 Y -24.0	建立刀具补偿
G03 X20.73 Y -26.25 R6.0;	G03 X20.73 Y -26.25 CR =6.0	加工内轮廓
G02 X26.25 Y -20.73 R10.0;	G02 X26.25 Y -20.73 CR =10.0	
G03 X30.0 Y -15.17 R6.0;	G03 X30.0 Y -15.17 CR =6.0	
G01 Y15.17;	G01 Y15.17	
G03 X26.25 Y20.73 R6.0;	G03 X26.25 Y20.73 CR =6.0	
G02 X20.73 Y26.25 R10.0;	G02 X20.73 Y26.25 CR =10.0	
G03 X15.17 Y30.0 R6.0;	G03 X15.17 Y30.0 CR =6.0	
G01 X -15.17;	G01 X -15.17	
G03 X -20.73 Y26.25 R6.0;	G03 X -20.73 Y26.25 CR =6.0	
G02 X -26.25 Y20.73 R10.0;	G02 X -26.25 Y20.73 CR =10.0	
G03 X -30.0 Y15.17 R6.0;	G03 X -30.0 Y15.17 CR =6.0	
G01 Y -15.17;	G01 Y -15.17	
G03 X -26.25 Y -20.73 R6.0;	G03 X -26.25 Y -20.73 CR =6.0	
G02 X -20.73 Y -26.25 R10.0;	G02 X -20.73 Y -26.25 CR =10.0	
G03 X -15.17 Y -30.0 R6.0;	G03 X -15.17 Y -30.0 CR =6.0	
G01 X15.17;	G01 X15.17	
G40 G01 X0 Y0;	G40 G01 X0 Y0	取消刀具半径补偿
G91 G28 Z0 M09;	G74 Z0 M09	Z 向返回参考点
M05;	M05	程序结束部分
M30;	M02	

注：孔加工程序和反面轮廓加工程序参阅样例1 的参考程序。

五、样例小结

本例工件加工完成后，可以与样例2 配合。对于有配合要求的零件，其加工过程中除了要注意保证零件的尺寸精度外，还应特别注意这类零件的几何公差（如轮廓之间的平行度、垂直度等）要求，即使这些几何公差在图样中没有进行标注，也应按较高的要求进行加工，否则无法实现良好的配合与互换要求。

在编制多个孔的加工程序时，应注意刀具退刀位置的选择。当工件表面有台阶时，退刀位置应取在初始平面，而当工件表面为平坦面时，退刀位置可选在 R 参考平面，本例工件加工过程中选择的退刀位置为 R 平面。

职业技能鉴定样例



考核目标

- ◆ 复杂零件的编程与加工；
- ◆ 复杂零件的加工工艺分析；
- ◆ 轮廓加工进退刀路线的合理选择；
- ◆ 内轮廓加工过程中Z向进退刀方式的合理选择；
- ◆ 顺铣和逆铣的合理选择。

一、考核要求

加工图 4-1 所示零件（坯件尺寸为 80mm × 80mm × 21mm），试分析其加工工艺并编写其数控铣加工程序。

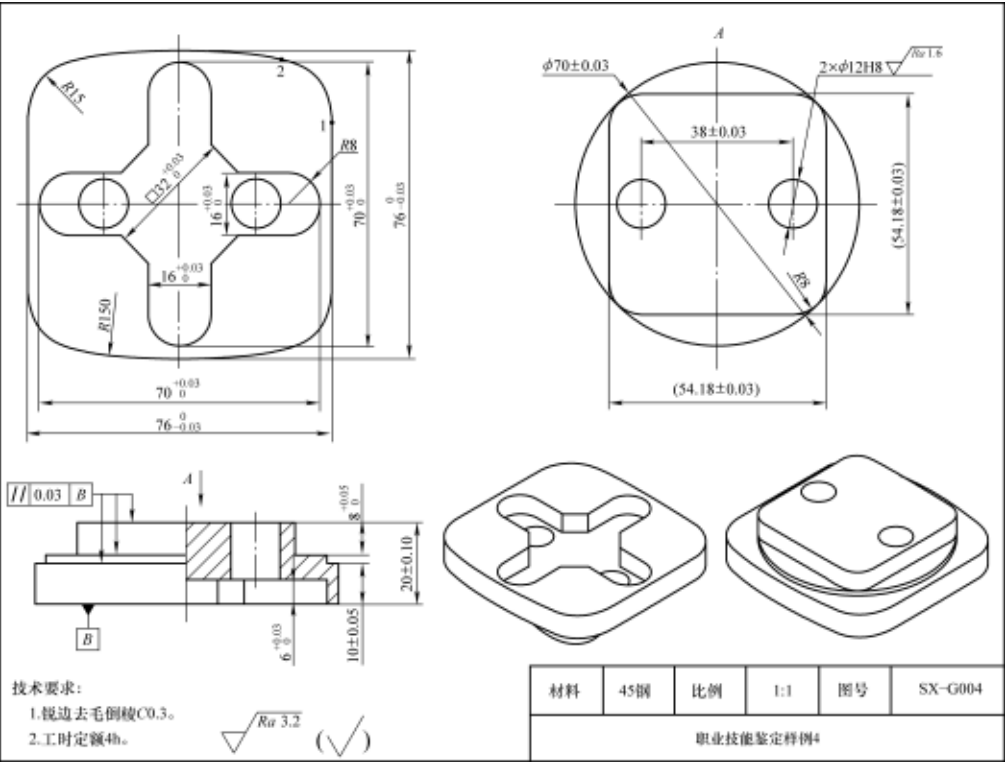


图 4-1 职业技能鉴定样例 4

二、加工准备与加工要求

1. 加工准备

本样例选择 TK7650 型 FANUC 0i 系统或 SIEMENS 802D 数控铣床或加工中心进行加工，编程方式采用手工编程，换刀方式采用手动换刀。

加工中使用的刀具、量具和工具参照表 1-1 进行配置，零件毛坯参照图 1-2 进行配置。

2. 加工要求

本样例的工时定额（包括编程与手动输入程序）为 4h，其加工要求见表 4-1。

表 4-1 职业技能鉴定样例 4 评分表

工件编号				总得分			
项目与配分		序号	技术要求	配分	评分标准	检测记录	得分
工件加工评分 (100)	正面外形轮廓 (56)	1	$76_{-0.03}^0\text{mm}$	4×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		2	$70_{+0}^{+0.03}\text{mm}$	4×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		3	$16_{+0}^{+0.03}\text{mm}$	4×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		4	$32_{+0}^{+0.03}\text{mm}$	4×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		5	$6_{+0}^{+0.03}\text{mm}$	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		6	(10±0.05) mm	4	超差 0.02mm 扣 1 分		
		7	(20±0.10) mm	4	超差 0.02mm 扣 1 分		
		8	R8mm、R15mm、R150mm 等	4	超差一处扣 1 分		
		9	Ra3.2μm	4	超差一处扣 1 分		
		10	工件轮廓形状完整	4	不完整一处扣 2 分		
	反面外形轮廓 (22)	11	(54.18±0.03) mm	4×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		12	φ(70±0.03) mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		13	R8mm	1	超差一处全扣		
		14	轮廓错位量	3	错位 0.03mm 扣 1 分		
		15	Ra3.2μm	3	超差一处扣 1 分		
		16	工件轮廓形状完整	3	不完整一处扣 2 分		
	孔 (15)	17	φ12H8	3×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		18	(38±0.03) mm	3	超差 0.01mm 扣 1 分		
		19	Ra1.6μm	2×2	超差一处扣 2 分		
		20	工件轮廓形状完整	2	不完整一处扣 2 分		
	其他 (7)	21	工件按时完成	2	未按时完成全扣		
		22	工件无过切等缺陷	2	缺陷一处扣 2 分		
		23	工件去毛倒棱 C0.3mm	3	酌情扣 0~3 分		



(续)

工件编号			总得分			
项目与配分	序号	技术要求	配分	评分标准	检测记录	得分
程序与工艺 (倒扣分)	24	程序正确合理	倒扣	每错一处扣1分		
	25	加工工艺正确	倒扣	不合理每处扣2分		
机床操作 (倒扣分)	26	机床操作规范	倒扣	出错一次扣2分		
	27	工件、刀具装夹规范	倒扣	出错一次扣2分		
安全文明生产 (倒扣分)	28	安全操作	倒扣	因安全事故停止操作		
	29	整理机床	倒扣	可酌情扣5~30分		

三、相关知识

1. 轮廓加工进退刀路线的选择技巧

(1) 加工路线的确定原则 在数控加工中, 刀具刀位点相对于零件运动的轨迹称为加工路线。加工路线的确定与工件的加工精度和表面粗糙度直接相关, 其确定原则如下:

- 1) 加工路线应保证被加工零件的精度和表面粗糙度, 且效率较高。
- 2) 使数值计算简便, 以减少编程工作量。
- 3) 应使加工路线最短, 这样既可减少程序段, 又可减少空刀时间。
- 4) 加工路线还应根据工件的加工余量和机床、刀具的刚度等具体情况确定。

(2) 轮廓铣削加工路线的确定 采用立铣刀侧刃铣削轮廓类零件时, 为减少接刀痕迹, 保证零件表面质量, 铣刀的切入和切出点应选在零件轮廓曲线的延长线上(见图4-2中A-B-C-D-E-F), 而不应沿法向直接切入零件, 以避免加工表面产生刀痕, 保证零件轮廓光滑。

铣削内轮廓表面时, 如果切入和切出无法外延, 切入与切出应尽量采用圆弧过渡(见图4-3)。在无法实现时, 铣刀可沿零件轮廓的法线方向切入和切出, 但须将其切入、切出点选在零件轮廓两几何元素的交点处。

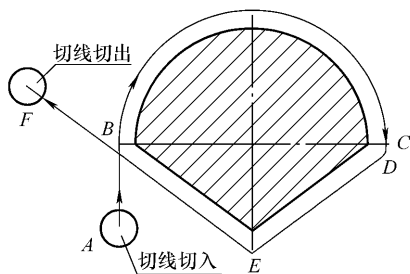


图4-2 外轮廓切线切入切出

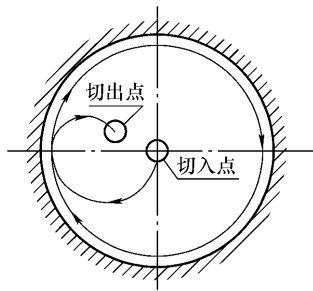


图4-3 内轮廓切线切入切出

在轮廓加工过程中,在工件—刀具—夹具—机床系统弹性变形平衡的状态下,进给停顿时,切削力减小,会改变系统的平衡状态,刀具会在进给停顿处的零件表面留下刀痕,因此在轮廓加工中应避免进给停顿。

2. 内轮廓加工时 Z 向进退刀路线的选择技巧

加工内轮廓时,如果是与底面相通的内轮廓,则可通过钻孔加工方式先加工出工艺孔,然后在工艺孔中进行 Z 向进刀。如果加工的是不通的内轮廓时,加工过程中的主要问题是如何进行 Z 向切深进刀。通常,选择的刀具种类不同,其进刀方式也各不相同。在数控加工中,常用的内轮廓加工 Z 向进刀方式主要有以下几种:

(1) 垂直切深进刀 如图 4-4a 所示,采用垂直切深进刀时,须选择切削刃过中心的键铣刀或钻铣刀进行加工,而不能采用立铣刀进行加工(中心处没有切削刃)。另外,由于采用这种进刀方式切削时,刀具中心的切削线速度为零,在加工过程中容易产生振动,从而损坏刀具,因此,即使选用键铣刀进行加工,也应选择较低的切削进给速度(通常为 XY 平面内切削进给速度的一半)。

(2) 在工艺孔中进刀 在内轮廓加工过程中,有时需用立铣刀来加工内型腔,以保证刀具的强度。由于立铣刀无法进行 Z 向垂直切深,此时可选用直径稍小的钻头在指定的进刀位置先加工出工艺孔(见图 4-4b),再以立铣刀进行 Z 向垂直切深进给。

(3) 三轴联动斜线进刀 采用立铣刀加工内轮廓时,也可直接用立铣刀采用三轴联动斜直线方式(见图 4-4c)进刀,从而避免刀具中心部分参加切削。但这种进刀方式无法实现 Z 向进给与轮廓加工的平滑过渡,容易产生加工痕迹。这种进刀方式的指令如下:

G01 X__ Y__ Z0; (定位至起刀点)

X__ Z__; (斜直线进刀)

(4) 三轴联动螺旋线进刀 采用三轴联动的另一种进刀方式是螺旋线进刀(见图 4-4d)。这种进刀方式容易实现 Z 向进刀与轮廓加工的自然平滑过渡,不会产生加工过程中的刀具接痕。因此,在手工编程和自动编程的内轮廓铣削中广泛使用这种进刀方式。这种进刀方式的刀具轨迹如图 4-5 所示,其指令格式如下:

G02/G03 X__ Y__ Z__ R__; (非整圆加工的螺旋线指令)

G02/G03 X__ Y__ Z__ I__ J__ K__ ; (整圆加工的螺旋线指令)

X、Y、Z: 螺旋线的终点坐标;

R: 螺旋线的半径;

I、J、K: 螺旋线起点到圆心的矢量值。

比较四种内轮廓加工的 Z 向进刀方式,首选的进刀方式为立铣刀螺旋线进刀。最差的进刀方式为键铣刀进行 Z 向切深进给。如果由于轮廓结构等原因无法采用螺旋线方式进刀时,最好采用斜直线或钻工艺孔方式进刀。钻 Z 向进刀的工艺孔

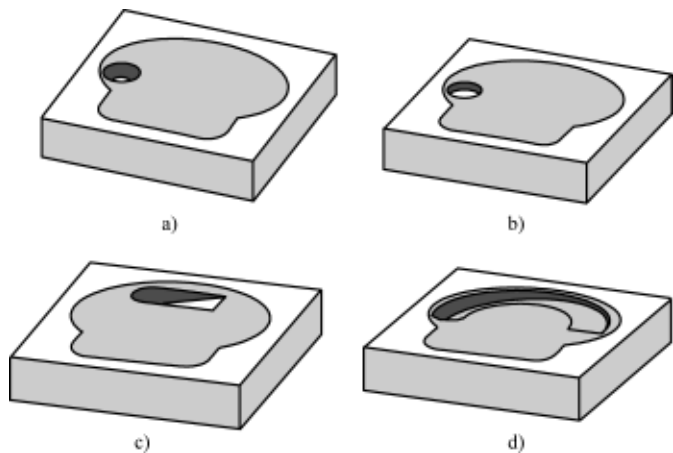


图 4-4 内轮廓的 Z 向进刀方式

a) 键铣刀垂直进刀 b) 在工艺孔中垂直进刀 c) 斜直线进刀 d) 螺旋线进刀

时,对刀应精确,以避免所加工的工艺孔过浅或过深(过深会在加工底面留下加工痕迹,过浅则达不到工艺孔的效果)。



图 4-5 螺旋线进刀的刀具轨迹

3. 顺铣和逆铣的选择技巧

(1) 顺铣和逆铣对切削力的影响 铣削加工过程中,刀具对工件的作用力如图 4-6 所示。逆铣时作用于工件上的垂直切削分力始终向上,有将工件抬起的趋势,易引起振动,影响工件的夹紧,这种情况在铣削薄壁和刚度差的工件时表现得尤为突出。顺铣时作用于工件上的垂直切削分力始终压紧工件,这对工件的夹紧有利。

顺铣时工件受到的纵向分力与进给运动方向相同,会引起“扎刀”现象,损坏加工表面;严重时还会使刀齿折断,或使工件夹具移位,甚至损坏机床。逆铣时工件受到的纵向分力与进给运动方向相反,丝杠与螺母的传动工作面始终接触,由螺纹副推动工作台运动,使工作台运动比较平稳。

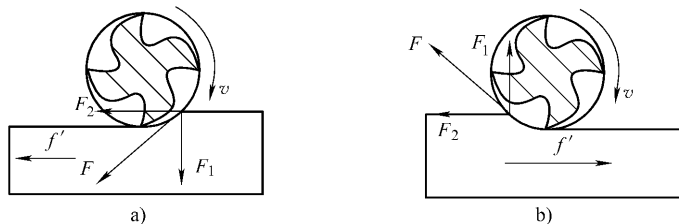


图 4-6 刀具对工件的作用力

a) 顺铣 b) 逆铣

(2) 顺铣和逆铣对刀具弹性变形的影响 如图 4-6 所示,采用立铣刀顺铣切削工件轮廓时,工件对刀具的反作用力指向刀具方向,刀具的弹性变形使刀具产生

“让刀”（即欠切）现象。采用立铣刀逆铣切削工件轮廓时，工件对刀具的反作用力指向轮廓内部，刀具的弹性变形使刀具产生“啃刀”（即过切）现象。当刀具直径越小、刀杆伸得越长时，“让刀”和“啃刀”现象越明显。

针对这种现象，粗加工采用顺铣时，可少留精加工余量。粗加工采用逆铣时，须多留精加工余量，以防过切产生工件报废。

（3）顺铣和逆铣对刀具磨损的影响 顺铣的垂直铣削分力将工件压向工作台，刀齿与已加工面滑行、摩擦现象少，对减小刀齿磨损、减少加工硬化现象和减小表面粗糙度值均有利。另外，顺铣时刀齿的切削厚度是从最大到零，使刀齿切入工件时的冲击力较大，尤其工件待加工表面是毛坯或者有硬皮时，会使刀具体产生较大的振动。但顺铣时刀齿在工件上走过的路程比逆铣短，平均切削厚度大。因此，在相同的切削条件下，采用逆铣时，刀具易磨损，消耗的切削功率要多些。

逆铣时，每个刀齿的切削厚度由零增至最大。但切削刃并非绝对锋利，铣刀刃口处总有圆弧存在，刀齿不能立刻切入工件，而是在已加工表面上挤压滑行，使该表面的硬化现象严重，影响了表面质量，也使刀齿的磨损加剧。

（4）顺铣和逆铣的选择 采用顺铣时，首先要求机床具有间隙消除机构，能可靠地消除工作台进给丝杠与螺母间的间隙，以防止铣削过程中产生振动。如果工作台由液压驱动，则最为理想。其次，要求工件毛坯表面没有硬皮，工艺系统要有足够的刚性。如果以上条件能够满足时，应尽量采用顺铣，特别是对难加工材料的铣削，采用顺铣可以减少切削变形，降低切削力和切削功率。

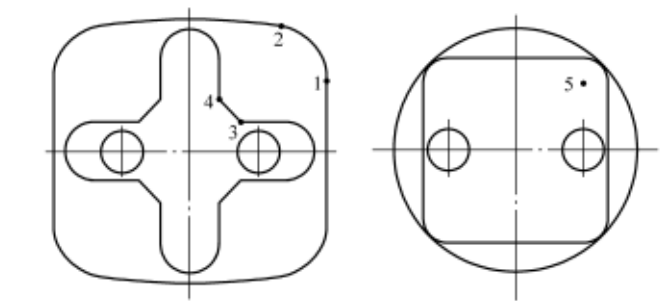
零件粗加工时，通常采用逆铣的切削加工方式，因为逆铣时，刀具从已加工表面切入，不易崩刃，且机床的传动间隙不会引起振动和爬行。精加工时，为防止过切现象，通常采用顺铣的加工方式。在数控铣床或加工中心上进行铣削加工时，由于数控机床普遍具有间隙消除机构，传动机构的反向间隙较小，而且数控机床大多进行零件精加工，因此，数控铣削时通常采用顺铣的加工方式（即轮廓加工时采用刀具半径左补偿进行编程）。

在数控机床上进行轮廓铣削加工时，判断顺铣和逆铣加工较为简便的方法是：不管是内轮廓还是外轮廓加工，采用刀具半径左补偿编程铣削的加工方式为顺铣，而采用刀具半径右补偿编程铣削的加工方式为逆铣。当采用盘铣刀加工平面轮廓，刀具的切削宽度大于 50% 的刀具直径时，切削过程既存在顺铣，又存在逆铣。

四、零件加工

1. 工件局部基点的计算

本例工件选择 Mastercam 软件或 CAXA 制造工程师软件进行基点坐标分析，得出的局部基点坐标如图 4-7 所示。



局部基点坐标:

1 (38.0, 21.03), 2 (25.56, 35.81), 3 (14.63, 8.0)
4 (8.0, 14.63), 5 (19.09, 19.09)

图 4-7 局部基点坐标

2. 参考程序

本例工件的参考程序见表 4-2。

表 4-2 职业技能鉴定样例 4 参考程序

FANUC Oi 系统程序	SIEMENS 802D 系统程序	程序说明
O0041;	AA041. MPF	正面外轮廓加工程序
G90 G94 G21 G40 G54 F150;	G90 G94 G71 G40 G54 F150	程序初始化
G91 G28 Z0;	G74 Z0	Z 向返回参考点
M03 S600;	T1D1 M03 S600	主轴正转, 转速为 600r/min
G90 G00 X-50.0 Y-50.0 M08;	G00 X-50.0 Y-50.0 M08	定位至起刀点
Z20.0;	Z20.0	
G01 Z-10.5;	G01 Z-10.5	
G41 G01 X-38.0 Y-50.0 D01;	G41 G01 X-38.0 Y-50.0	延长线上建立刀具补偿
G01 Y21.03;	G01 Y21.03	加工外形轮廓
G02 X-25.56 Y35.81 R15.0;	G02 X-25.56 Y35.81 CR=15.0	
G02 X25.56 R150.0;	G02 X25.56 CR=150.0	
G02 X38.0 Y21.03 R15.0;	G02 X38.0 Y21.03 CR=15.0	
G01 Y-21.03;	G01 Y-21.03	
G02 X25.56 Y-35.81 R15.0;	G02 X25.56 Y-35.81 CR=15.0	
G02 X-25.56 R150.0;	G02 X-25.56 CR=150.0	
G02 X-38.0 Y-21.03 R15.0;	G02 X-38.0 Y-21.03 CR=15.0	

(续)

FANUC 0i 系统程序	SIEMENS 802D 系统程序	程序说明
G40 G01 X - 50.0 Y - 50.0 ;	G40 G01 X - 50.0 Y - 50.0	取消刀具半径补偿
G91 G28 Z0 M09 ;	G74 Z0 M09	Z 向返回参考点
M05 ;	M05	程序结束部分
M30 ;	M02	
O0042 ;	AA042. MPF	正面内轮廓加工程序
G90 G94 G21 G40 G54 F150 ;	G90 G94 G71 G40 G54 F150	程序初始化
G91 G28 Z0 ;	G74 Z0	Z 向返回参考点
M03 S800 ;	T2D1 M03 S800	主轴正转，转速为 800r/min
G90 G00 X - 50.0 Y - 50.0 M08 ;	G00 X - 50.0 Y - 50.0 M08	加工内轮廓
Z20.0 ;	Z20.0	
G01 Z0.1 ;	G01 Z0.1	
G41 G01 X16.0 Y0 D01 ;	G41 G01 X16.0 Y0	
G03 X16.0 Y0 Z - 6.0 I - 16.0 ;	G03 X16.0 Y0 Z - 6.0 I - 16.0	
G40 X0 Y0 ;	G40 X0 Y0	
G41 G01 Y - 8.0 D01 ;	G41 G01 Y - 8.0	
G01 X27.0 ;	G01 X27.0	
G03 Y8.0 R8.0 ;	G03 Y8.0 CR = 8.0	
G01 X14.63 ;	G01 X14.63	
X8.0 Y14.63 ;	X8.0 Y14.63	
Y27.0 ;	Y27.0	
G03 X - 8.0 R8.0 ;	G03 X - 8.0 CR = 8.0	
G01 Y14.63 ;	G01 Y14.63	
X - 14.63 Y8.0 ;	X - 14.63 Y8.0	
X - 27.0 ;	X - 27.0	
G03 Y - 8.0 R8.0 ;	G03 Y - 8.0 CR = 8.0	
G01 X - 14.63 ;	G01 X - 14.63	
X - 8.0 Y - 14.63 ;	X - 8.0 Y - 14.63	
Y - 27.0 ;	Y - 27.0	
G03 X8.0 R8.0 ;	G03 X8.0 CR = 8.0	
G01 Y - 14.63 ;	G01 Y - 14.63	
X14.63 Y - 8.0 ;	X14.63 Y - 8.0	

(续)

FANUC 0i 系统程序	SIEMENS 802D 系统程序	程序说明
G40 G01 X0 Y0;	G40 G01 X0 Y0	取消刀具补偿
G91 G28 Z0 M09;	G74 Z0 M09	Z 向返回参考点
M05;	M05	程序结束部分
M30;	M02	

注: 1. 内外轮廓的加工程序分开, 有利于正确控制轮廓的加工精度。
2. 孔加工程序参阅样例 1 的参考程序。

五、样例小结

轮廓加工的粗加工和精加工为同一个程序, 均采用刀具半径左补偿进行编程。粗加工时, 设定的刀具补偿量为“ R (刀具半径) + 0.2mm (精加工余量)”;而在精加工时, 设定的刀具补偿量通常为“ R ”。由于采用刀具半径左补偿方式进行编程, 所以刀具的加工方式为顺铣, 加工过程中刀具会产生一定程度的让刀现象, 高速钢刀具比硬质合金刀具的让刀更为严重。因此, 为了保证实际尺寸精度, 刀具补偿量可根据粗加工后实测的轮廓尺寸及所选用刀具的材料取略小于“ R ”的值 (小 0.01 ~ 0.05mm)。

本例工件轮廓加工时, 内外轮廓均选择在延长线上进刀, 而退刀时, 只要不发生零件过切及加工干涉现象, 对退刀点的位置不作要求。



考核目标

- ◆ 复杂零件的编程与加工；
- ◆ 复杂零件的加工工艺分析；
- ◆ 铣削用量的合理选择；
- ◆ 精加工余量的合理选择。

一、考核要求

加工图 5-1 所示零件（坯件尺寸为 80mm × 80mm × 21mm），试分析其加工工艺并编写其数控铣加工程序。

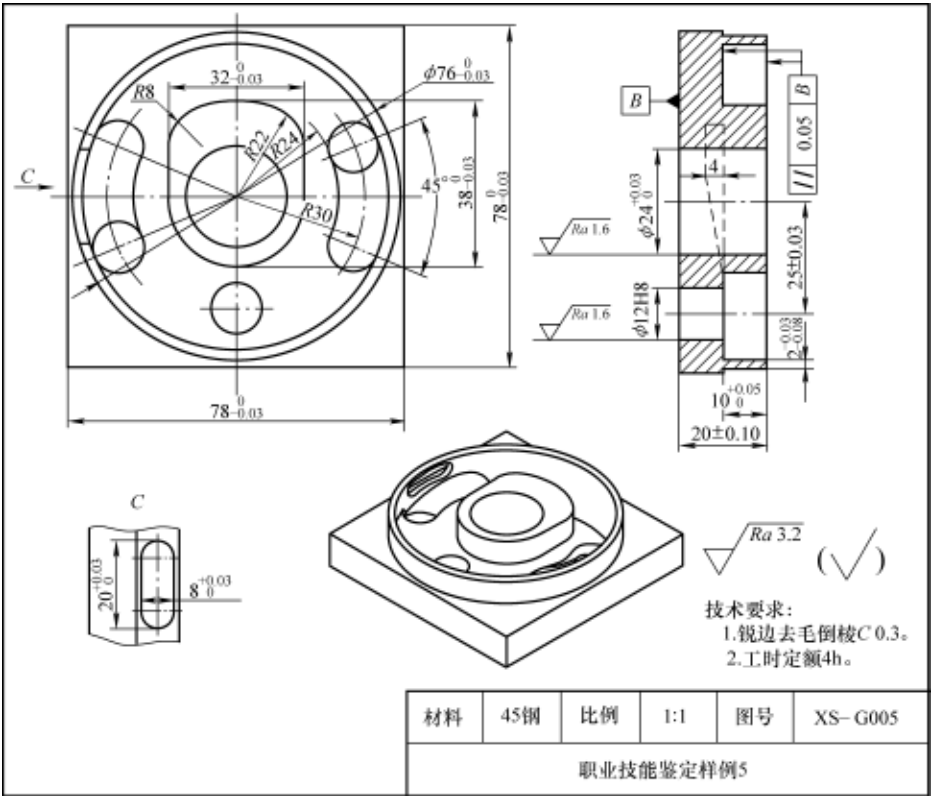


图 5-1 职业技能鉴定样例 5



二、加工准备与加工要求

1. 加工准备

本样例选择 TK7650 型 FANUC 0i 系统或 SIEMENS 802D 数控铣床或加工中心进行加工,编程方式采用手工编程,换刀方式采用手动换刀。

加工中使用的刀具、量具和工具参照表 1-1 进行配置,零件毛坯参照图 1-2 进行配置。

2. 加工要求

本样例的工时定额(包括编程与手动输入程序)为 4h,其加工要求见表 5-1。

表 5-1 职业技能鉴定样例 5 评分表

工件编号		总得分				
项目与配分	序号	技术要求	配分	评分标准	检测记录	得分
工件 加工 评分 (100)	正面 外形 轮廓 (62)	1 78 ⁰ _{-0.03} mm	4×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		2 $\phi 76_{-0.03}^0$ mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		3 2 ^{-0.03} _{-0.08} mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		4 32 ⁰ _{-0.03} mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		5 38 ⁰ _{-0.03} mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		6 10 ^{+0.05} ₀ mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		7 平行度 0.05mm	4×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		8 (20±0.10)mm	4	超差 0.02mm 扣 1 分		
		9 螺旋槽形状	4	不正确全扣		
		10 螺旋槽尺寸	4	超差一处扣 1 分		
		11 螺旋槽相切外圆	4	不相切不得分		
		12 R8mm、R22mm 等	2	超差一处扣 1 分		
		13 Ra3.2μm	4	超差一处扣 1 分		
		14 工件轮廓形状完整	4	不完整一处扣 2 分		
	侧面 外形 轮廓 (12)	15 20 ^{+0.03} ₀ mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		16 8 ^{+0.03} ₀ mm	4	超差 0.01mm 扣 0.5 分		
		17 Ra3.2μm	1	超差一处扣 1 分		
		18 工件轮廓形状完整	3	不完整一处扣 2 分		
	孔 (20)	19 $\phi 12H8$	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		20 (25±0.03)mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		21 $\phi 24_{+0}^{+0.03}$ mm (镗孔)	6	超差 0.01mm 扣 1 分		
		22 Ra1.6μm	2×2	超差一处扣 2 分		
		23 工件轮廓形状完整	2	不完整一处扣 2 分		
	其他 (6)	24 工件按时完成	2	未按时完成全扣		
		25 工件无过切等缺陷	2	缺陷一处扣 2 分		
		26 工件去毛倒棱 C 0.3mm	2	酌情扣 0~2 分		

(续)

工件编号			总得分			
项目与配分	序号	技术要求	配分	评分标准	检测记录	得分
程序与工艺 (倒扣分)	27	程序正确合理	倒扣	每错一处扣 1 分		
	28	加工工艺正确	倒扣	不合理每处扣 2 分		
机床操作 (倒扣分)	29	机床操作规范	倒扣	出错一次扣 2 分		
	30	工件、刀具装夹规范	倒扣	出错一次扣 2 分		
安全文明生产 (倒扣分)	31	安全操作	倒扣	因安全事故停止操作可酌情扣 5 ~ 30 分		
	32	整理机床	倒扣			

三、相关知识

1. 切削用量的选择

(1) 铣削用量的选择技巧 切削用量的选择原则是在保证零件加工精度和表面粗糙度的情况下，充分发挥刀具的切削性能，保证合理的刀具寿命，并充分发挥机床的性能，最大程度提高生产率，降低加工成本。另外，在切削用量的选择过程中，应充分考虑切削用量各参数之间的关联性。例如，用同一刀具加工同一零件，当选用较大的背吃刀量，则应取较小的进给速度；反之，当选用较小的背吃刀量时，则可选取较大的进给速度。

选用切削用量时，还应注意，并不是选择数值越小的切削用量就对刀具的使用性能越有利。例如，选用高速钢刀具粗加工钢件时，如选用较小的背吃刀量，则毛坯表面的氧化层硬皮容易使刀具迅速磨损。再例如，选用硬质合金刀具粗加工钢件时，如选择类似高速钢刀具的进给速度（F100 ~ F200），则刀具容易产生振动，而造成刀具的崩刃等损伤现象。

(2) 本例工件切削用量的选用 切削用量的确定取决于编程人员的经验、工件的加工精度及表面质量、工件的材料性质、刀具的材料及形状、刀柄的刚性等因素。

1) 主轴转速（ n ）。对于高速钢刀具，切削速度 v 取 20 ~ 30m/min，根据公式“ $n = 1000v / (\pi D)$ ”选取粗加工时主轴转速 $n = 600\text{r/min}$ ，精加工时主轴转速 $n = 1000\text{r/min}$ 。

对于硬质合金刀具，切削速度 v 取 80 ~ 220m/min，根据公式“ $n = 1000v / (\pi D)$ ”选取精镗孔时主轴转速 $n = 1500\text{r/min}$ 。

2) 进给速度（ f ）。粗加工时，为提高生产率，在工件质量得到保证的前提下，可选择较高的进给速度，一般取 100 ~ 200mm/min，本例中粗加工进给速度取 100mm/min。精加工时，为保证加工精度要求和表面粗糙度要求，应选较小的进给速度，一般在 50 ~ 100mm/min 的范围内选取，本例精加工进给速度取 80mm/min。

刀具空行程的进给速度一般取 G00 速度，或在 600 ~ 1500mm/min 的范围内选取。



3) 切削深度和切削宽度。采用高速钢刀具粗加工时, 切削深度一般可取刀具直径的 $0.5 \sim 0.8$ 倍, 本例中粗加工的切削深度取 10mm 。精加工时, 为了保证工件表面质量, 一般在深度方向的切削深度等于精加工余量。

高速钢刀具的切削宽度可取刀具直径的 $0.75 \sim 1$ 倍。

2. 精加工余量的选择技巧

(1) 精加工余量的概念 精加工余量是指精加工过程中, 所切去的金属层厚度。通常情况下, 精加工余量由精加工一次切削完成。

加工余量有单边余量和双边余量之分。轮廓和平面的加工余量指单边余量, 它等于实际切削的金属层厚度。而对于一些内圆和外圆等回转体表面, 加工余量有时指双边余量, 即以直径方向计算, 实际切削的金属层厚度为加工余量的一半。

(2) 精加工余量的影响因素 精加工余量的大小对零件的加工最终质量有直接影响。选取的精加工余量不能过大, 也不能过小。余量过大会增加切削力、切削热的产生, 进而影响加工精度和加工表面质量; 余量过小则不能消除上道工序(或工步)留下的各种误差、表面缺陷和本工序的装夹误差, 容易造成废品。因此, 应根据影响余量大小的因素合理地确定精加工余量。

影响精加工余量大小的因素主要有两个, 即上道工序(或工步)的各种表面缺陷、误差和本工序的装夹误差。

(3) 精加工余量的确定方法 确定精加工余量的方法主要有以下三种:

1) 经验估算法。此法凭工艺人员的实践经验估计精加工余量。为避免因余量不足而产生废品, 所估余量一般偏大, 仅用于单件小批生产。

2) 查表修正法。查表修正法将工厂生产实践和试验研究积累的有关精加工余量的资料制成表格, 并汇编成手册。确定精加工余量时, 可先从手册中查得所需数据, 然后再结合工厂的实际情况进行适当修正。这种方法目前应用最广。

3) 分析计算法。采用此法确定精加工余量时, 需运用计算公式和一定的试验资料, 对影响精加工余量的各项因素进行综合分析和计算来确定其精加工余量。用这种方法确定的精加工余量比较经济合理, 但必须有比较全面和可靠的试验资料, 目前, 只在材料十分贵重, 以及军工生产或少数大量生产的工厂中采用。

(4) 精加工余量的确定 加工中心机床上, 采用经验估算法或查表修正法确定的精加工余量推荐值见表 5-2, 轮廓指单边余量, 孔指双边余量。

表 5-2 精加工余量推荐值

(单位: mm)

加工方法	刀具材料	精加工余量	加工方法	刀具材料	精加工余量
轮廓铣削	高速钢	$0.2 \sim 1$	铰孔	高速钢	$0.1 \sim 0.2$
	硬质合金	$0.3 \sim 2$		硬质合金	$0.2 \sim 0.4$
扩孔	高速钢	$0.5 \sim 1$	镗孔	高速钢	$0.1 \sim 0.5$
	硬质合金	$1 \sim 2$		硬质合金	$0.3 \sim 1.0$

选择精加工余量时，应注意以下几个问题：

- 1) 余量最小原则，在保证加工精度和加工质量的前提下，余量越小越好。较小的加工余量可缩短加工时间，减少材料消耗，降低加工成本。
- 2) 余量充分原则，防止因余量不足而造成加工废品。
- 3) 余量中应包含热处理引起的变形。
- 4) 大零件取大余量，零件越大，切削力及内应力引起的加工变形就越大。

四、零件加工

1. 工件局部基点的计算

本例工件的基点计算较为简单，请读者自行计算局部基点坐标。

2. 参考程序

本例工件的参考程序见表 5-3。

表 5-3 职业技能鉴定样例 5 参考程序

FANUC 0i 系统程序	SIEMENS 802D 系统程序	程序说明
O0051;	AA051. MPF	正面轮廓粗加工程序
G90 G94 G21 G40 G54 F100;	G90 G94 G71 G40 G54 F100	程序初始化
G91 G28 Z0;	G74 Z0	Z 向返回参考点
M03 S600;	T1D1 M03 S600	主轴正转，转速为 600r/min
G90 G00 X-50.0 Y-10.0 M08;	G00 X-50.0 Y-10.0 M08	定位至起刀点
Z20.0;	Z20.0	
G01 Z-10.0;	G01 Z-10.0	
G41 G01 X-38.0 Y-10.0 D01;	G41 G01 X-38.0 Y-10.0	延长线上建立刀具补偿
G01 Y0;	G01 Y0	加工外形轮廓
G02 I38.0;	G02 I38.0	
G40 G01 X-50.0 Y10.0 M09;	G40 G01 X-50.0 Y10.0 M09	
G00 Z5.0;	G00 Z5.0	刀具重新定位
X-26.0 Y0;	X-26.0 Y0	
G01 Z0;	G01 Z0	
G41 G01 X-36.0 Y0 D01;	G41 G01 X-36.0 Y0	加工内圆
G03 Z-10.0 I36.0;	G03 Z-10.0 I36.0	
G03 I36.0;	G03 I36.0	



(续)

FANUC Oi 系统程序	SIEMENS 802D 系统程序	程序说明
G40 G01 X -26.0 Y0;	G40 G01 X -26.0 Y0	加工内凸台
G41 G01 X -16.0 Y -10.0 D01;	G41 G01 X -16.0 Y -10.0 D01	
G01 Y11.49;	G01 Y11.49	
G02 X -12.57 Y18.05 R8.0;	G02 X -12.57 Y18.05 CR =8.0	
G02 X12.57 R22.0;	G02 X12.57 CR =22.0	
G02 X16.0 Y11.49 R8.0;	G02 X16.0 Y11.49 CR =8.0	
G01 Y0;	G01 Y0	
G02 X -16.0 R16.0;	G02 X -16.0 CR =16.0	
G40 G01 X -26.0 Y0;	G40 G01 X -26.0 Y0	加工两条螺旋槽
G01 X -22.71 Y11.48;	G01 X -22.71 Y11.48	
G03 Y -11.48 Z -14.0 R30.0;	G03 Y -11.48 Z -14.0 CR =30.0	
G00 Z5.0;	G00 Z5.0	
X22.71 Y -11.48;	X22.71 Y -11.48	
G01 Z -10.0;	G01 Z -10.0	
G03 Y11.48 Z -14.0 R30.0;	G03 Y11.48 Z -14.0 CR =30.0	Z 向返回参考点
G00 Z20.0;	G00 Z20.0	
G91 G28 Z0 M09;	G74 Z0 M09	程序结束部分
M05;	M05	
M30;	M02	

- 注：1. 以上程序修改转速和进给速度即可作为精加工程序。
2. 请自行编写侧面轮廓的加工程序，孔加工程序参阅样例1 的参考程序。

五、样例小结

对于类似本例内轮廓中有孔的工件，在加工内轮廓时，可先加工出预孔（本例加工出两个 $\phi 8\text{mm}$ 的预孔），再选用立铣刀从预孔中垂直进刀进行加工。这样做可减少换刀次数，缩短了加工时间；另外一方面，采用立铣刀加工时，可增加刀具的强度，提高加工精度。

对于精加工余量的选择，根据经验值选择非常重要。由于采用顺铣方式进行粗、精加工，考虑到让刀因素，精加工余量可以选择较小值。一般情况下，取 0.05mm 甚至更小值的精加工余量即能保证精加工的要求，读者不妨可以取较小值试一试。

职业技能鉴定样例

6

考核目标

- ◆ 复杂零件的编程与加工；
- ◆ 复杂零件的加工工艺分析；
- ◆ 坐标旋转编程；
- ◆ 螺纹铣削加工。

一、考核要求

加工图 6-1 所示零件（坯件尺寸为 80mm × 80mm × 21mm），试分析其加工工艺并编写其数控铣加工程序。

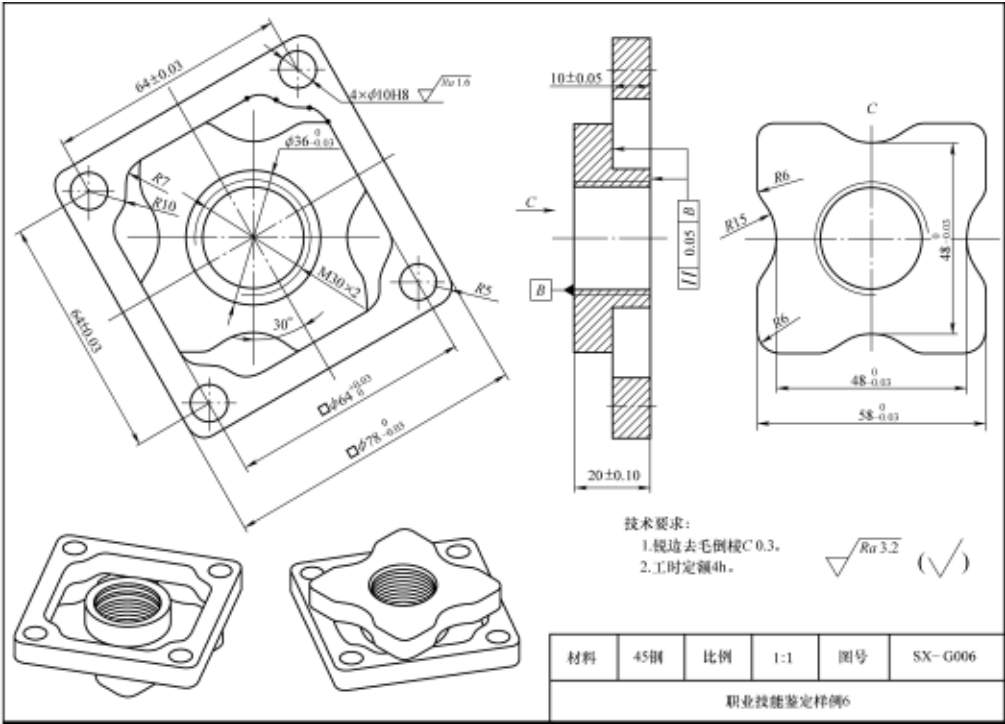


图 6-1 职业技能鉴定样例 6

二、加工准备与加工要求

1. 加工准备

本样例选择 TK7650 型 FANUC 0i 系统或 SIEMENS 802D 数控铣床或加工中心进行加工，编程方式采用手工编程，换刀方式采用手动换刀。

加工中使用的刀具、量具和工具参照表 1-1 进行配置，零件毛坯参照图 1-2 进行配置。

2. 加工要求

本样例的工时定额（包括编程与手动输入程序）为 4h，其加工要求见表 6-1。

表 6-1 职业技能鉴定样例 6 评分表

工件编号		总得分					
项目与配分		序号	技术要求	配分	评分标准	检测记录	得分
工件加工评分 (100)	正面外形轮廓 (45)	1	$78_{-0.03}^0\text{ mm}$	4×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		2	$64_{0}^{+0.03}\text{ mm}$	4×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		3	(10±0.05) mm	4	超差 0.02mm 扣 1 分		
		4	平行度 0.05mm	4×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		5	$\phi 36_{-0.03}^0\text{ mm}$	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		6	(20±0.10) mm	4	超差 0.02mm 扣 1 分		
		7	R5mm、R7mm、R10mm 等	2	超差一处扣 1 分		
		8	Ra3.2μm	4	超差一处扣 1 分		
		9	工件轮廓形状完整	3	不完整一处扣 2 分		
	反面外形轮廓 (23)	10	$58_{-0.03}^0\text{ mm}$	4×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		11	$48_{-0.03}^0\text{ mm}$	4×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		12	R6mm、R15mm 等	2	超差一处扣 1 分		
		13	Ra3.2μm	3	超差一处扣 1 分		
		14	工件轮廓形状完整	2	不完整一处扣 2 分		
	孔 (26)	15	φ10H8	2×4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		16	(64±0.03) mm	3×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		17	Ra1.6μm	1×4	超差一处扣 1 分		
		18	M30×2	6	超差全扣		
		19	工件轮廓形状完整	2	不完整一处扣 2 分		
	其他 (6)	20	工件按时完成	2	未按时完成全扣		
		21	工件无过切等缺陷	2	缺陷一处扣 2 分		
		22	工件去毛倒棱 C0.3mm	2	酌情扣 0~2 分		

(续)

工件编号			总得分			
项目与配分	序号	技术要求	配分	评分标准	检测记录	得分
程序与工艺 (倒扣分)	23	程序正确合理	倒扣	每错一处扣 1 分		
	24	加工工艺正确	倒扣	不合理每处扣 2 分		
机床操作 (倒扣分)	25	机床操作规范	倒扣	出错一次扣 2 分		
	26	工件、刀具装夹规范	倒扣	出错一次扣 2 分		
安全文明生产 (倒扣分)	27	安全操作	倒扣	因安全事故停止操作可 酌情扣 5 ~ 30 分		
	28	整理机床	倒扣			

三、相关知识

1. 坐标旋转编程

(1) FANUC 系统坐标旋转指令 对于某些围绕中心旋转得到的特殊的轮廓加工，如果根据旋转后的实际加工轨迹进行编程，可能使坐标计算的工作量大大增加，而通过图形旋转功能，可以大大简化编程的工作量。坐标旋转的指令格式如下：

G17 G68 X__ Y__ R__；

G69；

G68：坐标系旋转生效指令；

G69：坐标系旋转取消指令；

X、Y：用以指定坐标系旋转的中心；

R：用以指定坐标系旋转的角度，该角度一般取 0 ~ 360°的正值。旋转角度的零度方向为第一坐标轴的正方向，逆时针方向为角度方向的正方向。不足 1°的角度以小数点表示，如 10°54’用 10.9°表示。

例如 G68 X30.0 Y50.0 R45.0；

该指令表示坐标系以坐标点（30，50）作为旋转中心，逆时针旋转 45°。

(2) SIEMENS 系统坐标旋转指令

ROT RPL = __；

AROT RPL = __；

例 1：G17 ROT RPL = 30.0；

例 2：G18 AROT RPL = 30.0；

ROT：绝对可编程零位旋转，参考基准为通过 G54 ~ G59 指令建立的工件坐标系零位；

AROT：附加可编程零位旋转，参考基准为当前有效的设置或编程原点；

RPL：在平面内的旋转角度，对于平面旋转指令，旋转轴为与该平面相垂直的轴，从旋转轴的正方向向该平面看，逆时针方向为正方向，顺时针方向为负方向。



例 1 表示以编程坐标系原点为基点, 在 G17 平面内绕 Z 轴转过 30° 。

例 2 表示以当前设置的坐标系原点为基点, 在 G18 平面内绕 Y 轴转过 30° 。

(3) 坐标系旋转编程实例 用 $\phi 8\text{mm}$ 立铣刀精加工图 6-2 所示内轮廓, 试采用坐标旋转指令编写其加工中心加工程序。

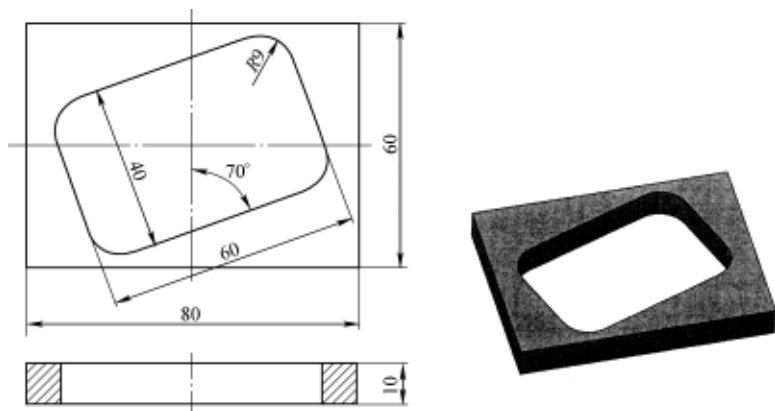


图 6-2 坐标系旋转编程实例

```

O0065;
G90 G94 G15 G17 G40 G80 G54;
G91 G28 Z0;
G90 G00 X0 Y0;
      Z20.0;
S600 M03;
G01 Z-12.0 F100;
G68 X0 Y0 R20.0;          (坐标旋转 20°)
G41 G01 X12.0 Y-11.0 D01;
G03 X30.0 Y-11.0 R9.0;
G01 Y11.0;
G03 X21.0 Y20.0 R9.0;
G01 X-21.0;
G03 X-30.0 Y11.0 R9.0;
G01 Y-11.0;
G03 X-21.0 Y-20.0 R9.0;
G01 X21.0;
G40 G01 X0 Y0;
G69;
G91 G28 Z0;
M30;
  
```

2. 铣螺纹编程与加工

(1) 铣螺纹刀具 螺纹铣削时, 通常使用图 6-3 所示螺纹铣削刀具进行加工, 这种刀具与数控车床上的机夹螺纹车刀类似。螺纹螺距规格不同, 选用的刀片也不相同。

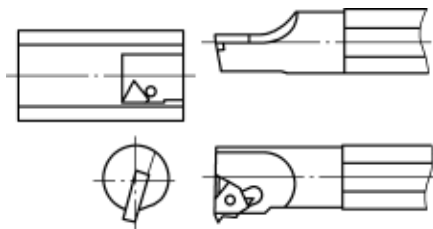


图 6-3 螺纹铣削刀具

(2) 内、外螺纹底径的确定 铣内螺纹时, 螺纹的底孔直径应稍大于螺纹小径, 底孔直径通常根据经验公式决定, 其公式如下:

$$D_{\text{底}} = D - P \quad (\text{加工钢件等塑性金属})$$

$$D_{\text{底}} = D - 1.05P \quad (\text{加工铸铁等脆性金属})$$

式中 $D_{\text{底}}$ ——铣螺纹时底孔用钻头直径 (mm);

D ——螺纹大径 (mm);

P ——螺距 (mm)。

铣螺纹加工方式, 既可加工内螺纹, 也可加工外螺纹。对于外螺纹, 其螺杆的外径确定方法如下:

$$d_{\text{杆}} = d - 0.13P$$

式中 $d_{\text{杆}}$ ——外螺纹铣削时的圆杆直径 (mm);

d ——螺纹大径 (mm);

P ——螺距 (mm)。

(3) 螺纹铣削实例 在数控铣床上加工图 6-4 所示内螺纹, 在内螺纹加工前其底孔已加工完成 (底孔直径为 38.5mm), 试编写其数控铣加工程序。

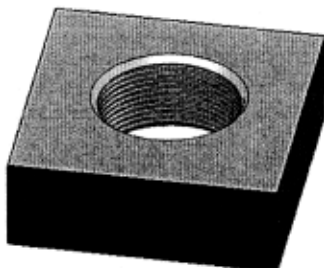
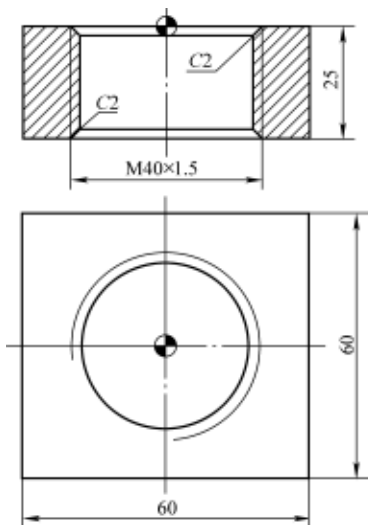


图 6-4 铣内螺纹实例



O0066;

G90 G94 G40 G21 G17 G54;

G91 G28 Z0;

G90 G00 X0 Y0;

M03 S600 M08;

G00 Z20.0;

G01 Z2.0 F100;

(刀具下降至Z向起刀点)

#101=0.5;

(螺旋线终点的Z坐标)

G41 G01 X20.0 Y0 D01;

(螺旋线起始点)

N100 G02 I-20.0 Z=#101;

(加工螺旋线)

#101=#101-1.5;

(计算下一条螺旋线Z向终点坐标)

IF [#101 GT -28.0] GOTO 100;

G40 G01 X0.0 Y0.0;

G91 G28 Z0;

M05 M09;

M30;

四、零件加工

1. 工件局部基点的计算

本例工件选择 Mastercam 软件或 CAXA 制造工程师软件进行基点坐标分析, 得出坐标旋转后的局部基点坐标, 如图 6-5 所示。

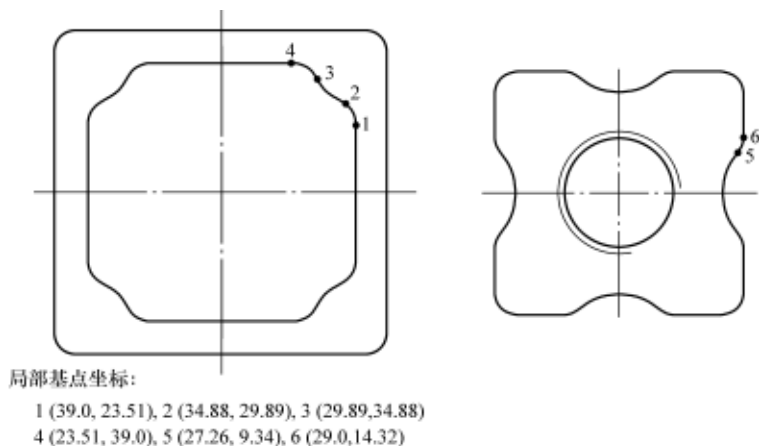


图 6-5 局部基点坐标

2. 加工难点分析

本例工件的加工难点主要有以下几个方面:

- 1) 正面的轮廓和反面的轮廓均需采用坐标旋转编程，否则不能保证零件在加工过程中有充足的加工余量。
- 2) 内螺纹加工需采用铣螺纹方式编程，编程过程中需采用宏程序。
- 3) 以反面轮廓装夹加工正面轮廓时，须采用内孔（螺纹孔）中心进行找正。因此，在加工反面轮廓时，只能加工出螺纹孔的底孔，不加工螺纹，以保证找正的基准。

3. 参考程序

本例工件的参考程序见表 6-2。

表 6-2 职业技能鉴定样例 6 参考程序

FANUC Oi 系统程序	SIEMENS 802D 系统程序	程序说明
O0061;	AA061. MPF	反面轮廓粗加工程序
G90 G94 G21 G40 G54 F100;	G90 G94 G71 G40 G54 F100	程序初始化
G91 G28 Z0;	G74 Z0	Z 向返回参考点
M03 S600;	T1D1 M03 S600	主轴正转，转速为 600r/min
G90 G00 X -50.0 Y -50.0 M08;	G00 X -50.0 Y -50.0 M08	定位至起刀点
Z20.0;	Z20.0	
G01 Z -10.0;	G01 Z -10.0	
G68 X0 Y0 R30.0;	ROT RPL = 30.0	坐标旋转
G41 G01 X -29.0 Y -29.0 D01;	G41 G01 X -29.0 Y -29.0	延长线上建立刀具补偿
G01 Y -14.32;	G01 Y -14.32	加工反面外轮廓
G02 X -27.26 Y -9.34 R6.0;	G02 X -27.26 Y -9.34 CR = 6.0	
G03 Y9.34 R15.0;	G03 Y9.34 CR = 15.0	
G02 X -29.0 Y14.32 R6.0;	G02 X -29.0 Y14.32 CR = 6.0	
G01 Y23.0;	G01 Y23.0	
G02 X -23.0 Y29.0 R6.0;	G02 X -23.0 Y29.0 CR = 6.0	
G01 X -14.32;	G01 X -14.32	
G02 X -9.34 Y27.26 R6.0;	G02 X -9.34 Y27.26 CR = 6.0	
G03 X9.34 R15.0;	G03 X9.34 CR = 15.0	
G02 X14.32 Y29.0 R6.0;	G02 X14.32 Y29.0 CR = 6.0	
G01 X23.0;	G01 X23.0	
G02 X29.0 Y23.0 R6.0;	G02 X29.0 Y23.0 CR = 6.0	
G01 Y14.32;	G01 Y14.32	
G02 X27.26 Y9.34 R6.0;	G02 X27.26 Y9.34 CR = 6.0	
G03 Y -9.34 R15.0;	G03 Y -9.34 CR = 15.0	
G02 X29.0 Y -14.32 R6.0;	G02 X29.0 Y -14.32 CR = 6.0	



(续)

FANUC 0i 系统程序	SIEMENS 802D 系统程序	程序说明
G01 Y-23.0;	G01 Y-23	加工反面外轮廓
G02 X23.0 Y-29.0 R6.0;	G02 X23.0 Y-29.0 CR=6.0	
G01 X14.32;	G01 X14.32	
G02 X9.34 Y-27.26 R6.0;	G02 X9.34 Y-27.26 CR=6.0	
G03 X-9.34 R15.0;	G03 X-9.34 CR=15.0	
G02 X-14.32 Y-29.0 R6.0;	G02 X-14.32 Y-29.0 CR=6.0	
G01 X-23.0;	G01 X-23.0	
G02 X-29.0 Y-23.0 R6.0;	G02 X-29.0 Y-23.0 CR=6.0	
G40 G01 X-50.0 Y-50.0 M09;	G40 G01 X-50.0 Y-50.0 M09	取消刀具补偿
G69;	ROT	取消坐标旋转
G91 G28 Z0 M09;	G74 Z0 M09	Z 向返回参考点
M05;	M05	程序结束部分
M30;	M02	
O0062;	AA062.MPF	铣螺纹加工程序
G90 G94 G21 G40 G54 F100;	G90 G94 G71 G40 G54 F100	程序开始部分
G91 G28 Z0;	G74 Z0	
M03 S600;	T1D1 M03 S600	
G90 G00 X0 Y0 M08;	G00 X0 Y0 M08	刀具定位
Z20.0;	Z20.0	
G01 Z2.0;	G01 Z2.0	
G42 G01 X15.0 Y0 D01;	G42 G01 X15.0 Y0	螺旋线起点 Z 坐标
#1=0;	R1=0	
N100 G02 I-15.0 Z#1;	MA1: G02 I-15.0 Z=R1	铣削内螺纹
#1=#1-2.0;	R1=R1-2.0	
IF[#1 GT-24.0] GOTO 100;	IF R1 >= -24.0 GOTOB MA1	
G40 G01 X0 Y0;	G40 G01 X0 Y0	取消刀具补偿
G91 G28 Z0;	G91 G28 Z0	程序结束部分
M05 M09;	M05 M09	
M30;	M30	

注：请读者采用坐标旋转方式编写正面轮廓的加工程序。

五、样例小结

加工本例工件时，采用坐标旋转方式进行编程。先顺时针旋转 30°编程与加工

$58_{-0.03}^0\text{mm} \times 58_{-0.03}^0\text{mm}$ 的四方形外轮廓。反面加工时，以四方形外轮廓作为装夹表面，逆时针旋转 30° （即顺时针旋转 330° ）编程与加工反面内、外轮廓。

加工本例工件的内螺纹时，为了使编程格式统一，采用的编程方式为宏程序编程（FANUC 系统）和 R 参数（SIEMENS 系统）编程。但在 SIEMENS 系统中，螺纹铣削也可以采用固定循环指令“CYCLE90”（指令说明在后面的样例中叙述）进行编程与加工。

职业技能鉴定样例



考核目标

- ◆ 复杂零件的编程与加工；
- ◆ 复杂零件的加工工艺分析；
- ◆ CAD 软件绘图计算基点坐标的方法；
- ◆ 极坐标编程；
- ◆ 圆周均布相同轮廓的编程技巧。

一、考核要求

加工图 7-1 所示零件（坯件尺寸为 80mm × 80mm × 21mm），试分析其加工工艺并编写其数控铣加工程序。

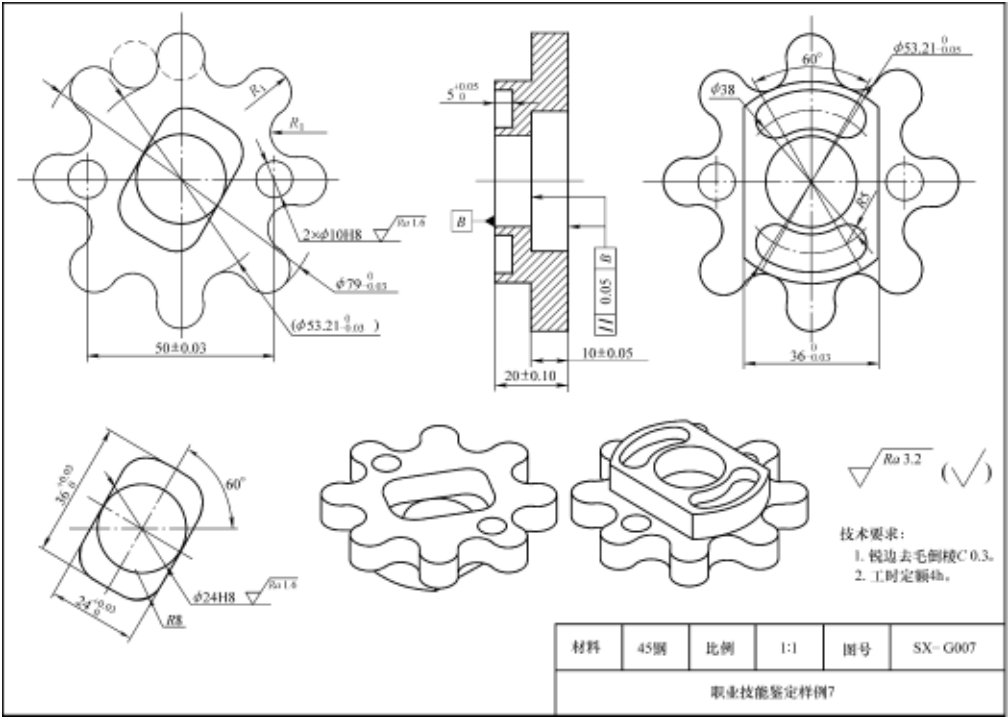


图 7-1 职业技能鉴定样例 7

二、加工准备与加工要求

1. 加工准备

本样例选择 TK7650 型 FANUC 0i 系统或 SIEMENS 802D 数控铣床或加工中心进行加工，编程方式采用手工编程，换刀方式采用手动换刀。

加工中使用的刀具、量具和工具参照表 1-1 进行配置，零件毛坯参照图 1-2 进行配置。

2. 加工要求

本样例的工时定额（包括编程与手动输入程序）为 4h，其加工要求见表 7-1。

表 7-1 职业技能鉴定样例 7 评分表

工件编号				总得分			
项目与配分		序号	技术要求	配分	评分标准	检测记录	得分
工件加工评分 (100)	正面外形轮廓 (50)	1	$\phi 79_{-0.03}^0 \text{ mm}$	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		2	$\phi 53.21_{-0.03}^0 \text{ mm}$	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		3	$(10 \pm 0.05) \text{ mm}$	4	超差 0.02mm 扣 1 分		
		4	平行度 0.05mm	4 × 2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		5	$R1 = R6.45$	3	超差 0.01mm 扣 1 分		
		6	轮廓形状正确	3	不正确全扣		
		7	$24_{+0.03}^0 \text{ mm}$	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		8	$36_{+0.03}^0 \text{ mm}$	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		9	60°	4	超差全扣		
		10	$(20 \pm 0.10) \text{ mm}$	4	超差 0.02mm 扣 1 分		
		11	$Ra3.2 \mu\text{m}$	4	超差一处扣 1 分		
		12	工件轮廓形状完整	4	不完整一处扣 2 分		
	反面外形轮廓 (20)	13	$\phi 53.21_{-0.05}^0 \text{ mm}$	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		14	$36_{-0.03}^0 \text{ mm}$	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		15	$5_{+0.05}^0 \text{ mm}$	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		16	60°、 $\phi 38 \text{ mm}$ 、 $R5 \text{ mm}$	3	超差一处扣 1 分		
		17	$Ra3.2 \mu\text{m}$	3	超差一处扣 1 分		
		18	工件轮廓形状完整	2	不完整一处扣 2 分		
	孔 (24)	19	$\phi 10 \text{ H8}$	3 × 2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		20	$(50 \pm 0.03) \text{ mm}$	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		21	$\phi 24 \text{ H8}$ （镗孔）	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		22	$Ra1.6 \mu\text{m}$	2 × 3	超差一处扣 2 分		
		23	圆与台阶相切	2	不相切全扣		
		24	工件轮廓形状完整	2	不完整一处扣 2 分		

(续)

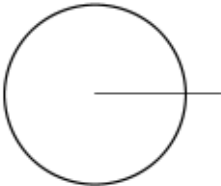
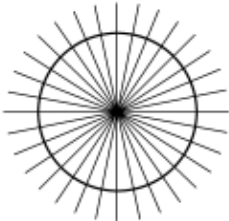
工件编号				总得分			
项目与配分		序号	技术要求	配分	评分标准	检测记录	得分
工件加工评分 (100)	其他 (6)	25	工件按时完成	2	未按时完成全扣		
		26	工件无过切等缺陷	2	缺陷一处扣2分		
		27	工件去毛倒棱 C0.3mm	2	酌情扣0~2分		
程序与工艺 (倒扣分)		28	程序正确合理	倒扣	每错一处扣1分		
		29	加工工艺正确	倒扣	不合理每处扣2分		
机床操作 (倒扣分)		30	机床操作规范	倒扣	出错一次扣2分		
		31	工件、刀具装夹规范	倒扣	出错一次扣2分		
安全文明生产 (倒扣分)		32	安全操作	倒扣	因安全事故停止操作 可酌情扣5~30分		
		33	整理机床	倒扣			

三、相关知识

1. CAD 软件绘图分析基点坐标的方法

在手工编程过程中，通常采用 CAD 软件来分析基点坐标。现以本样例圆弧齿轮为例，简要介绍 CAD 软件绘图并分析基点坐标的方法。绘图步骤见表 7-2。

表 7-2 CAD 软件绘图步骤

绘图步骤	图 示
绘制直径为 $\phi 79\text{mm}$ 的圆，以该圆的圆心为端点，绘制一条水平线	
以圆心为回转中心，将水平直线圆周阵列 32 次（圆周 32 等分均布）	

(续)

绘图步骤	图 示
采用与三条图素（一条圆弧和两条直线）相切的方式绘制整圆；采用同样的方式绘制另一个整圆	
采用图形修剪功能修剪前图中的两个小圆；删除多余的直线（原直线均为辅助线，保留其中的两条直线）	
将前图中的两个圆弧圆周阵列 8 个（含自身）	
采用软件自带的分析功能，分析手工编程中的基点坐标和圆弧半径 1 (36.49, 15.12) 2 (31.79, 6.32) 3 (31.79, -6.32) R = 6.45	

2. FANUC 系统的极坐标编程

(1) 极坐标指令

G16; (极坐标系生效指令)

G15; (极坐标系取消指令)

当使用极坐标指令后，坐标值以极坐标方式指定，即以极坐标半径和极坐标角度来确定点的位置。

1) 极坐标半径。当使用 G17、G18、G19 选择好加工平面后，用所选平面的第一轴地址来指定极坐标半径，该值用正值表示。

2) 极坐标角度。用所选平面的第二坐标地址来指定极坐标角度，极坐标的零度方向为第一坐标轴的正方向，逆时针方向为角度方向的正向。



例如图 7-2 所示 A 点与 B 点的坐标, 采用极坐标方式可描述如下:

A 点 $X40.0 Y0$; (极坐标半径为 40, 极坐标角度为 0°)

B 点 $X40.0 Y60.0$; (极坐标半径为 40, 极坐标角度为 60°)

(2) 编程示例 加工本例工件反面的月牙形槽时, 采用极坐标方式编写的加工程序如下:

O0075;

G90 G94 G15 G17 G40 G80 G54;

G91 G28 Z0;

G90 G00 X0 Y0;

Z20.0 M08;

S800 M03;

G01 Z0 F100;

G90 G17 G16; (选择 XY 平面, 极坐标生效)

G41 G01 X43.0 Y60.0 D01; (建立刀补)

G03 X43.0 Y120 Z-5.0 R43.0; (螺旋线下刀)

G03 X33.0 R5.0; (加工月牙形槽)

G02 Y60.0 R33.0;

G03 X43.0 R5.0;

G03 Y120.0 R43.0;

G40 G01 X38.0;

G15; (取消极坐标)

G91 G28 Z0 M09;

M30;

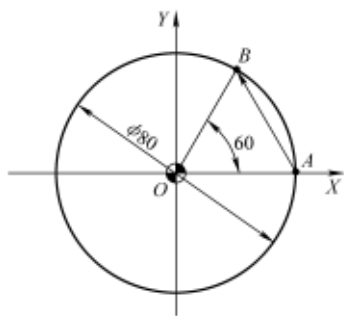


图 7-2 点的极坐标表示方法

3. SIEMENS 系统的极坐标编程

(1) 极坐标 当使用极坐标指令后, 坐标值以极坐标方式指定, 即以极坐标半径和极坐标角度来确定点的位置。测量半径与角度的起始点称为“极点”。

1) 极坐标半径。极坐标半径是指在指定平面内, 指定点到极点的距离, 在程序中用“RP”来表示。极坐标半径一律用正值表示。

2) 极坐标角度。极坐标角度是指在所选平面内, 指定点与极点的连线与指定平面第一轴(如 $G17$ 平面的 X 轴)的夹角, 在程序中用“AP”来表示。极坐标角度的零度方向为第一坐标轴的正方向, 逆时针方向为角度的正值。

如图 7-3 所示 A 点与 B 点的坐标, 相对于极点 O , 用极坐标方式可描述如下:

A 点 $RP = 50$ $AP = 0$; (极坐标半径为 50, 极坐标角度为 0)

B 点 $RP = 50$ $AP = 60$; (极坐标半径为 50, 极坐标角度为 60°)

(2) 极坐标系原点 极坐标原点指定方式有 G110、G111 和 G112 三种。其指令格式如下所示:

G110(G111) X __ Y __ Z __;

G112 AP = __ RP = __;

G110: 极坐标参数, 相对于刀具最近到达的点 (即刀具当前位置点) 定义极坐标;

G111: 极坐标参数, 相对于工件坐标系原点定义极坐标;

G112: 极坐标参数, 相对于上一个有效的极点定义极坐标;

AP = : 极坐标角度, 数值范围 $\pm 0 \sim 360^\circ$, 其值可以用绝对值表示, 也可以用增量值表示, 分别用符号 “AC” 与 “IC” 表示;

RP = : 极坐标半径, 其单位为毫米 (mm) 或英寸 (in), 默认为毫米;

X、Y、Z: 相对于定义点的坐标值。

如图 7-4 所示, 分别将 A 点、B 点与刀具中心当前位置点 C 点指定为极坐标原点。

A 点 G111 X30 Y20; (相对于工件坐标系原点定义极坐标)

B 点 G112 AP=60 RP=40; (相对于前一极坐标原点定义极坐标)

C 点 G110 X0 Y0; (相对于刀具当前位置点定义极坐标)

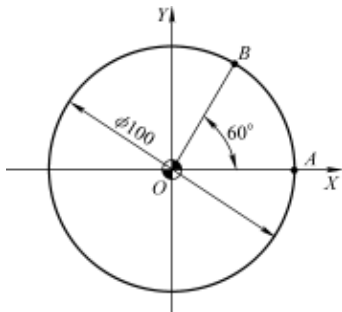


图 7-3 极坐标的表示

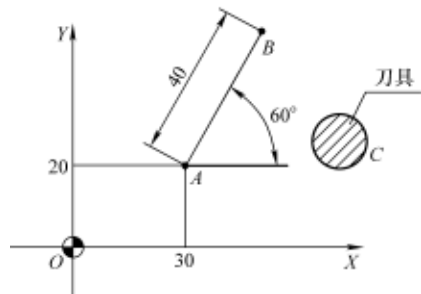


图 7-4 极坐标原点的指定

(3) 极坐标中的刀具移动方式 与笛卡儿坐标系一样, 在极坐标系中用 G00/G01/G02/G03 加上 RP、AP 指令可以使刀具完成快速定位/直线插补/顺、逆时针圆弧插补等动作。具体指令格式如下所示:

G00 AP = __ RP = __;

G01 AP = __ RP = __;

G02 AP = __ RP = __ CR = __;

G03 AP = __ RP = __ CR = __;



例如, $G01\ AP=30.0\ RP=40.0$;

当使用极坐标进行圆弧编程时,应特别注意指令中的“AP”和“RP”是圆弧终点相对于圆弧圆心的极角与极半径,而不是圆弧终点相对于极点的极角与极半径。

四、零件加工

1. 加工技巧分析

本例工件的加工技巧在于圆周均布相同轮廓的编程技巧。在轮廓编程与加工过程中,经常会遇到圆周均布相同轮廓的情况,对于这种轮廓的手工编程,可采用坐标旋转结合宏指令(参数指令)方式编程,从而减少编程过程中基点计算的工作量。本例圆弧齿轮轮廓的编程思路如下:

先编写单个圆弧齿轮的加工程序,其加工子程序如下:

```
O0075;  
G41 G01 X36.49 Y15.12 D01;  
G03 X31.79 Y6.32 R-6.45;  
G02 Y-6.32 R-6.45;  
G40 G01 X36.49 Y-15.12;  
M99;
```

再采用坐标旋转方式编写其他轮廓的加工程序,共计8个子轮廓,每个轮廓与前一加工轮廓在圆周上相差 45° 。如果采用宏指令或参数指令编程时,其局部加工程序如下:

```
#1=360.0;           (指定坐标旋转的角度)  
N100 G68 X0 Y0 R#1; (坐标旋转,初始旋转角度为 $360^\circ$ )  
M98 P75;           (也可不用子程序,直接编写单个轮廓的加工程序)  
G69;               (取消坐标旋转)  
#1=#1-45.0;        (坐标旋转角度减小 $45^\circ$ )  
IF[#1 GT 0] GOTO 100; (条件判断,如果#1大于0,则返回N100执行)
```

2. 参考程序

本例工件的参考程序见表7-3。

表 7-3 职业技能鉴定样例 7 参考程序

FANUC Oi 系统程序	SIEMENS 802D 系统程序	程序说明
O0071;	AA071.MPF	正面轮廓粗加工程序
G90 G94 G21 G40 G54 F100;	G90 G94 G71 G40 G54 F100	程序初始化
G91 G28 Z0;	G74 Z0	Z 向返回参考点
M03 S800;	T1D1 M03 S800	主轴正转,转速为 800r/min

(续)

FANUC 0i 系统程序	SIEMENS 802D 系统程序	程序说明
G90 G00 X50.0 Y50.0 M08;	G00 X50.0 Y50.0 M08	加工整圆去除余量
Z20.0;	Z20.0	
G01 Z -10.0;	G01 Z -10.0	
G41 G01 X39.55 D01;	G41 G01 X39.55	
G01 Y0;	G01 Y0	
G02 I -39.55;	G02 I -39.55	
G40 G01 X50.0 Y15.12;	G40 G01 X50.0 Y15.12	
#1 = 360.0;	R1 = 360.0	坐标旋转初值
N100 G68 X0 Y0 R#1;	MA1: ROT RPL = R1	坐标旋转
G41 G01 X36.49 Y15.12 D01;	G41 G01 X36.49 Y15.12	延长线上建立刀具补偿
G03 X31.79 Y6.32 R6.45;	G03 X31.79 Y6.32 CR = 6.45	加工正面外轮廓
G02 Y -6.32 R -6.45;	G02 Y -6.32 CR = -6.45	
G40 G01 X36.49 Y -15.12;	G40 G01 X36.49 Y -15.12	
G69;	ROT	
#1 = #1 - 45.0;	R1 = R1 - 45.0	
IF [#1 GT 0] GOTO 100;	IF R1 > 0 GOTOB MA1	
G91 G28 Z0 M09;	G74 Z0 M09	Z 向返回参考点
M05;	M05	程序结束部分
M30;	M02	
O0072;	AA072. MPF	正面内轮廓加工程序
G90 G94 G21 G40 G54 F100;	G90 G94 G71 G40 G54 F100	程序开始部分
G91 G28 Z0;	G74 Z0	
M03 S800;	T1D1 M03 S800	
G90 G00 X0 Y0 M08;	G00 X0 Y0 M08	刀具定位
Z20.0;	Z20.0	
G01 Z -10.0;	G01 Z -10.0	
G68 X0 Y0 R60.0;	ROT RPL = 60.0	
G41 G01 X2.0 Y -4.0 D01;	G41 G01 X2.0 Y -4.0	

(续)

FANUC Oi 系统程序	SIEMENS 802D 系统程序	程序说明
G03 X18.0 R8.0;	G03 X18.0 CR=8.0	加工内轮廓
G01 Y4.0;	G01 Y4.0	
G03 X10.0 Y12.0 R8.0;	G03 X10.0 Y12.0 CR=8.0	
G01 X-10.0;	G01 X-10.0	
G03 X-18.0 Y4.0 R8.0;	G03 X-18.0 Y4.0 CR=8.0	
G01 Y-4.0;	G01 Y-4.0	
G03 X-10.0 Y-12.0 R8.0;	G03 X-10.0 Y-12.0 CR=8.0	
G01 X10.0;	G01 X10.0	取消刀具补偿 程序结束部分
G40 G01 X0 Y0;	G40 G01 X0 Y0	
G91 G28 Z0;	G74 Z0	
M05 M09;	M05 M09	
M30;	M30	

注：孔加工程序请参阅样例1的参考程序。

五、样例小结

加工本例工件时，为了保证正反两面轮廓之间关联尺寸精度及几何精度，先粗、精加工反面轮廓，同时粗、精加工 $\phi 24H8$ 的孔；加工正面轮廓时，以反面外轮廓作为装夹基准，再以内孔作为找正平面进行精确地找正与对刀，从而既保证正反面轮廓的关联尺寸精度和几何精度，又保证了孔轮廓母线和长方形槽侧边不错位。

在数控加工过程中，理论知识对数控加工具有积极的指导意义，特别是加工工艺、加工步骤的合理选择将会直接影响到零件的加工精度。例如本例的加工次序选择将直接影响零件的加工精度。因此，读者认真学习数控技能的同时，还应注意理论知识的学习，从而真正做到理论与实践的有机结合。

考核目标

- ◆ 复杂零件的编程与加工；
- ◆ 复杂零件的加工工艺分析；
- ◆ 数控加工工艺文件的编写；
- ◆ 切削液的选择技巧；
- ◆ 编写本样例的加工工艺卡。

一、考核要求

加工图 8-1 所示零件（坯件尺寸为 80mm × 80mm × 21mm），试分析其加工工艺并编写其数控铣加工程序。

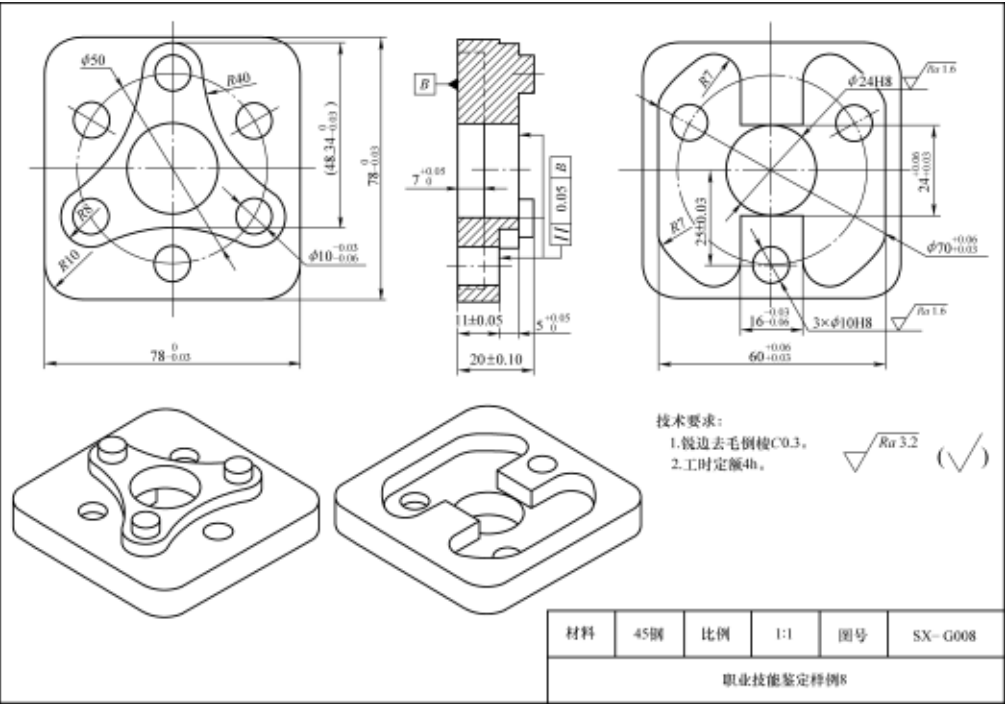


图 8-1 职业技能鉴定样例 8

二、加工准备与加工要求

1. 加工准备

本样例选择 TK7650 型 FANUC 0i 系统或 SIEMENS 802D 数控铣床或加工中心进行加工，编程方式采用手工编程，换刀方式采用手动换刀。

加工中使用的刀具、量具和工具参照表 1-1 进行配置，零件毛坯参照图 1-2 进行配置。

2. 加工要求

本样例的工时定额（包括编程与手动输入程序）为 4h，其加工要求见表 8-1。

表 8-1 职业技能鉴定样例 8 评分表

工件编号				总得分			
项目与配分		序号	技术要求	配分	评分标准	检测记录	得分
工件加工评分 (100)	正面外形轮廓 (42)	1	78 ⁰ _{-0.03} mm	4×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		2	(48.34 ⁰ _{-0.03}) mm	2×3	超差 0.01mm 扣 1 分		
		3	φ10 ^{-0.03} _{-0.06} mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		4	5 ^{+0.05} ₀ mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		5	平行度 0.05mm	3×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		6	(20±0.10) mm	4	超差 0.02mm 扣 1 分		
		7	Ra3.2μm	4	超差一处扣 1 分		
		8	R8mm、R10mm、R40mm 等	3	超差一处扣 1 分		
		9	工件轮廓形状完整	3	不完整一处扣 2 分		
	反面外形轮廓 (24)	10	φ70 ^{+0.06} _{+0.03} mm	3	超差 0.01mm 扣 1 分		
		11	60 ^{+0.06} _{+0.03} mm	3	超差 0.01mm 扣 1 分		
		12	16 ^{-0.03} _{-0.06} mm	3	超差 0.01mm 扣 1 分		
		13	24 ^{+0.06} _{+0.03} mm	3	超差 0.01mm 扣 1 分		
		14	7 ^{+0.05} ₀ mm	3	超差 0.01mm 扣 1 分		
		15	(11±0.05) mm	3	超差 0.02mm 扣 1 分		
		16	Ra3.2μm	3	超差一处扣 1 分		
		17	工件轮廓形状完整	3	不完整一处扣 2 分		
	孔 (28)	18	φ10H8	2×3	超差 0.01mm 扣 1 分		
		19	(25±0.03) mm	2×3	超差 0.01mm 扣 1 分		
		20	φ24H8 (镗孔)	6	超差 0.01mm 扣 1 分		
		21	Ra1.6μm	2×3	超差一处扣 2 分		
		22	圆与台阶相切	2	不相切全扣		
		23	工件轮廓形状完整	2	不完整一处扣 2 分		

(续)

工件编号				总得分			
项目与配分		序号	技术要求	配分	评分标准	检测记录	得分
工件加工评分 (100)	其他 (6)	24	工件按时完成	2	未按时完成全扣		
		25	工件无过切等缺陷	2	缺陷一处扣 2 分		
		26	工件去毛倒棱 C 0.3mm	2	酌情扣 0 ~ 2 分		
程序与工艺 (倒扣分)		27	程序正确合理	倒扣	每错一处扣 1 分		
		28	加工工艺正确	倒扣	不合理每处扣 2 分		
机床操作 (倒扣分)		29	机床操作规范	倒扣	出错一次扣 2 分		
		30	工件、刀具装夹规范	倒扣	出错一次扣 2 分		
安全文明生产 (倒扣分)		31	安全操作	倒扣	因安全事故停止操作可 酌情扣 5 ~ 30 分		
		32	整理机床	倒扣			

三、相关知识

1. 编制本样例的加工工艺卡（见表 8-2）

表 8-2 样例 8 加工工艺卡

工步号	工步内容（加工面）			刀具号	刀具规格	主轴转速/ (r/min)	进给速度/ (mm/min)	背吃刀量/mm
1	平面铣削			T01	φ80mm 盘铣刀	600	400	1
2	中心钻定位（定位 4 个孔）			T02	B2.5 中心钻	3000	50	0.5D
3	钻孔（钻 4 个孔）			T03	φ8mm 钻头	600	100	0.5D
4	粗加工正面外轮廓			T04	φ16mm 立铣刀	500	100	9
5	精加工正面外轮廓			T05	φ12mm 立铣刀	3000	500	9
6	扩孔（扩 3 个孔）			T06	φ9.8mm 钻头	800	60	0.9
7	铰孔			T07	φ10H8 铰刀	200	80	0.1
8	立铣刀扩孔至 φ23.5mm			T04	φ16mm 立铣刀	500	100	8
9	精镗孔			T08	φ24mm 精镗刀	1500	80	0.25
10	粗加工反面轮廓			T09	φ12mm 立铣刀	700	100	7
11	精加工反面轮廓			T05	φ12mm 立铣刀	3000	500	7
12	工件去毛倒棱							
编制		审核		批准		共__页 第__页		

注：1. 粗加工轮廓刀具材质为高速钢，精加工刀具材质为硬质合金。

2. D 指刀具（钻头）直径。



2. 切削液的选择技巧

(1) 切削液的作用 切削液的主要作用是冷却和润滑,加入特殊添加剂后,还可以起清洗和防锈的作用,以保护机床、刀具、工件等不被周围介质腐蚀。

1) 润滑作用。切削液能渗入到刀具、切屑、加工表面之间而形成薄薄的一层润滑膜或化学吸附膜。因此,可以减小它们之间的摩擦。切削液的润滑效果与切削条件有关,切削速度越高,切削厚度越大,工件材料强度越高,则切削液润滑效果越差。

2) 冷却作用。切削液能从切削区域带走大量的切削热,使切削温度降低。一般来说,水溶液的冷却性能最好,乳化液次之,油类最差。

3) 清洗作用。切削液的流动可冲走切削区域和机床导轨上的细小切屑及脱落的磨粒,从而达到清洗的目的。

4) 防锈作用。在切削液中加入防锈添加剂后,切削液可在金属材料表面上形成附着力很强的一层保护膜,从而对工件、机床、刀具起到很好的防锈、防腐作用。

(2) 切削液的种类

1) 水溶液。水溶液的主要成分是水 and 防腐剂、防霉剂等。为了提高清洗能力,可加入清洗剂。为具有润滑性,还可加入油性添加剂。

2) 乳化液。乳化液是水和乳化油经搅拌后形成的乳白色液体。乳化油是一种油膏,由矿物油和表面活性乳化剂(石油磺酸钠、磺化蓖麻油等)配制而成,表面活性剂的分子上带极性一端与水亲和,不带极性一端与油亲和,使水油均匀混合。

3) 合成切削液。合成切削液是国内外推广使用的高性能切削液,由水、各种表面活性剂和化学添加剂组成。它具有良好的冷却、润滑、清洗和防锈性能,热稳定性好,使用周期长。

4) 切削油。切削油主要起润滑作用,常用的有10号机械油、20号机械油、轻柴油、煤油、豆油、菜油、蓖麻油等矿物油、植物油。

5) 极压切削液。极压切削液是矿物油中添加氯、硫、磷等极压添加剂配制而成的。它在高温下不破坏润滑膜,具有良好的润滑效果,故被广泛使用。

6) 固体润滑剂。固体润滑剂主要以二硫化钼(MoS_2)为主。二硫化钼形成的润滑膜具有极低的摩擦系数和高的熔点(1185°C)。因此,高温不易改变它的润滑性能,具有很高的抗压性能和牢固的附着能力,还具有较高的化学稳定性和温度稳定性。

(3) 切削液的选用

1) 根据加工性质选用。粗加工时,由于加工余量及切削用量均较大,因此,在切削过程中产生大量的切削热,易使刀具迅速磨损,这时应降低切削区域温度,所以应选择以冷却作用为主的乳化液或合成切削液。

① 用高速钢刀具粗铣碳素钢时,应选用3%~5%(指质量分数,下同)的乳

化液,也可选用合成切削液。

② 用高速钢刀具粗铣合金钢、铜等合金工件时,应选用 5% ~ 7% 的乳化液。

③ 粗铣铸铁时,一般不选用切削液。

精加工时,为了减少切屑、工件与刀具之间的摩擦,保证工件的加工精度和表面质量,应选用润滑性能较好的极压切削油或高浓度极压乳化液。

① 用高速钢刀具精铣碳素钢时,应选用 10% ~ 15% 的乳化液或 10% ~ 20% 的极压乳化液。

② 用硬质合金刀具精加工碳素钢时,可以不加切削液,也可用 10% ~ 25% 的乳化液或 10% ~ 20% 的极压乳化液。

③ 精加工合金钢、铜等合金工件时,为了得到较高的表面质量和加工精度,可选用 10% ~ 20% 的乳化液或煤油。

半封闭加工(如钻孔、铰孔或深孔加工)时,排屑、散热条件均非常差,不仅使刀具磨损严重,容易退火,而且切屑容易拉毛已加工表面。为此,须选用黏度较小的极压切削液或极压切削油。

2) 根据工件材料选用。

① 一般钢件,粗加工时选择乳化液;精加工时选用硫化乳化液。

② 加工铸铁、铸铝等脆性金属时,为了避免细小切屑堵塞冷却系统或黏附在机床上难以清除,一般不用切削液。也可选用 7% ~ 10% 的乳化液或煤油。

③ 加工有色金属或铜合金时,不宜采用含硫的切削液,以免腐蚀工件。

④ 加工镁合金时,不用切削液,以免燃烧起火。必要时,可用压缩空气冷却。

⑤ 加工不锈钢、耐热钢等难加工材料时,应选用 10% ~ 15% 的极压切削油或极压乳化液。

3) 根据刀具材料选用。

① 高速钢刀具,粗加工时,选用乳化液;精加工时,选用极压切削油或浓度较高的极压乳化液。

② 硬质合金刀具,为避免刀片因骤冷骤热产生崩刃,一般不用切削液。如使用切削液,须连续充分浇注切削液。

(4) 切削液使用技巧 粗加工或半精加工时,切削热量大。因此,切削液的作用应以冷却散热为主。精加工时,为了获得良好的已加工表面质量,切削液应以润滑为主。

切削液的使用普遍采用浇注法。对于深孔加工、难加工材料的加工以及高速或强力切削加工,应采用高压冷却法。切削时切削液工作压力约为 1 ~ 10MPa,流量为 50 ~ 150L/min。

喷雾冷却法也是一种较好的使用切削液的方法,加工时,切削液被喷雾装置高压雾化,并被高速喷射到切削区。

四、零件加工

1. 分析基点坐标

本例工件选择 Mastercam 软件或 CAXA 制造工程师软件进行基点坐标分析，得出零件局部基点坐标，如图 8-2 所示。

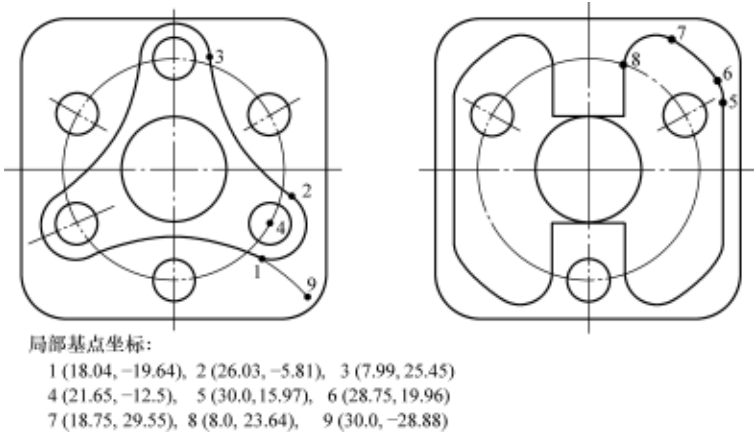


图 8-2 局部基点坐标

2. 参考程序

本例工件的参考程序见表 8-3。

表 8-3 职业技能鉴定样例 8 参考程序

FANUC 0i 系统程序	SIEMENS 802D 系统程序	程序说明
O0081;	AA081. MPF	正面轮廓精加工程序
G90 G94 G21 G40 G54 F500;	G90 G94 G71 G40 G54 F500	程序初始化
G91 G28 Z0;	G74 Z0	Z 向返回参考点
M03 S3000;	T1D1 M03 S3000	主轴正转，转速为 3000r/min
G90 G00 X -50.0 Y -50.0 M08;	G00 X -50.0 Y -50.0 M08	加工正面凸台轮廓
Z20.0;	Z20.0	
G01 Z -9.0;	G01 Z -9.0	
G41 G01 X30.0 Y28.88 D01;	G41 G01 X30.0 Y28.88	
G03 X -18.04 Y -19.64 R40.0;	G03 X -18.04 Y -19.64 CR =40.0	
G02 X -26.03 Y -5.81 R8.0;	G02 X -26.03 Y -5.81 CR =8.0	
G03 X -7.99 Y25.45 R40.0;	G03 X -7.99 Y25.45 CR =40.0	
G02 X7.99 R8.0;	G02 X7.99 CR =8.0	
G03 X26.03 Y -5.81 R40.0;	G03 X26.03 Y -5.81 CR =40.0	
G02 X18.04 Y -19.64 R8.0;	G02 X18.04 Y -19.64 CR =8.0	
G40 G01 X -50.0 Y -50.0;	G40 G01 X -50.0 Y -50.0	

(续)		
FANUC Oi 系统程序	SIEMENS 802D 系统程序	程序说明
G01 Z-5.0;	G01 Z-5.0	刀具重新定位
G41 G01 X16.65 Y-15.0 D01;	G41 G01 X16.65 Y-15.0 D01	
Y-12.5;	Y-12.5	加工三个圆柱面
G02 I5.0;	G02 I5.0	
G40 G01 X0 Y-8.0;	G40 G01 X0 Y-8.0	
G41 G01 X-16.65 D01;	G41 G01 X-16.65 D01	
.....		
G91 G28 Z0 M09;	G74 Z0 M09	Z 向返回参考点
M05;	M05	程序结束部分
M30;	M02	
O0083;	AA083. MPF	精铰孔加工程序
G90 G94 G21 G40 G54 F80;	G90 G94 G71 G40 G54 F80	程序开始部分
G91 G28 Z0;	G74 Z0	
M03 S200;	T1D1 M03 S200	
G90 G00 X0 Y0 M08;	G00 X0 Y0 M08	刀具定位
Z30.0;	Z30.0	
G85 X21.65 Y12.5 Z-23.0 R5.0 F80;	MCALL CYCLE85 (30.0, 0, 5.0, -23.0, , 0, 80, 200)	精铰三个孔
X-21.65;	G00 X21.65 Y12.5	
X0 Y-25.0;	X-21.65	
	X0 Y-25.0	
G80;	MCALL	取消孔加工固定循环
G91 G28 Z0 M09;	G74 Z0 M09	程序结束部分
M05;	M05	
M30;	M30	
O0084;	AA084. MPF	精镗孔加工程序
G90 G94 G21 G40 G54 F80;	G90 G94 G71 G40 G54 F80	程序开始部分
G91 G28 Z0;	G74 Z0	
M03 S1500;	T1D1 M03 S1500	
G90 G00 X0 Y0 M08;	G00 X0 Y0 M08	刀具定位
Z30.0;	Z30.0	
G76 X0 Y0 Z-22.0 R3.0 Q1000 P1000;	CYCLE86 (20.0, 0, 3.0, -22.0, , 1.0, 3, 0.5, 0, 0.5, 180.0)	精镗孔
G91 G28 Z0 M09;	G74 Z0 M09	程序结束部分
M30;	M02	

注：请读者自行编写反面轮廓的加工程序。



五、样例小结

数控机床所加工零件的尺寸精度和几何精度,一方面是由数控机床精度来保证的,另一方面,操作者的水平也对这些精度产生了直接的影响。因此,操作者应努力学好数控技能,认真细致地完成各项操作工作,尽可能减少人为因素对这些精度的影响。

在工件找正方面,有时为了找正一个工件,要进行多次反复找正后才能完成。因此,工件的装夹与找正一定要耐心细致地进行,否则达不到理想的找正效果。



考核目标

- ◆ 复杂零件的编程与加工；
- ◆ 复杂零件的加工工艺分析；
- ◆ 镜像加工的加工技巧；
- ◆ 数控机夹刀具的合理选择。

一、考核要求

加工图 9-1 所示零件（坯件尺寸为 80mm × 80mm × 21mm），试分析其加工工艺并编写其数控铣加工程序。

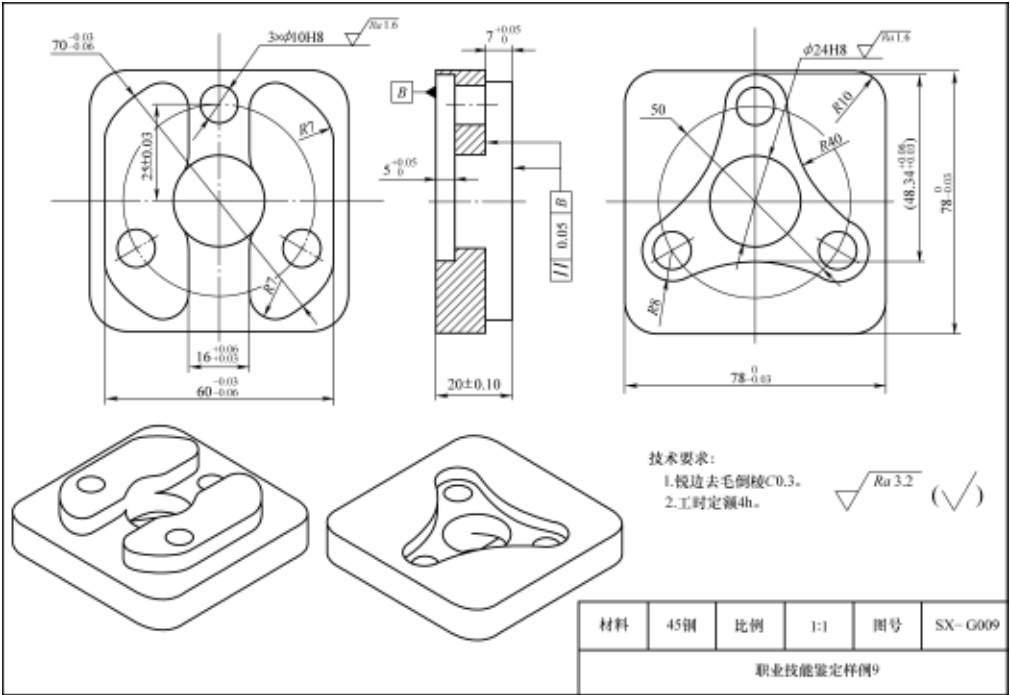


图 9-1 职业技能鉴定样例 9

二、加工准备与加工要求

1. 加工准备

本样例选择 TK7650 型 FANUC 0i 系统或 SIEMENS 802D 数控铣床或加工中心进行加工，编程方式采用手工编程，换刀方式采用手动换刀。

加工中使用的刀具、量具和工具参照表 1-1 进行配置，零件毛坯参照图 1-2 进行配置。

2. 加工要求分析

本样例的工时定额（包括编程与手动输入程序）为 4h，其加工要求见表 9-1。

表 9-1 职业技能鉴定样例 9 评分表

工件编号				总得分			
项目与配分		序号	技术要求	配分	评分标准	检测记录	得分
工件加工评分 (100)	正面外形轮廓 (44)	1	$78 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.03 \end{smallmatrix} \text{mm}$	4×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		2	$60 \begin{smallmatrix} 0.03 \\ -0.06 \end{smallmatrix} \text{mm}$	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		3	$\phi 70 \begin{smallmatrix} 0.03 \\ -0.06 \end{smallmatrix} \text{mm}$	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		4	$16 \begin{smallmatrix} 0.06 \\ +0.03 \end{smallmatrix} \text{mm}$	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		5	$7 \begin{smallmatrix} 0.05 \\ 0 \end{smallmatrix} \text{mm}$	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		6	平行度 0.05mm	4×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		7	(20±0.10) mm	4	超差 0.02mm 扣 1 分		
		8	Ra3.2μm	3	超差一处扣 1 分		
		9	R7mm、R10mm 等	2	超差一处扣 1 分		
		10	工件轮廓形状完整	3	不完整一处扣 2 分		
	反面外形轮廓 (22)	11	$(48.34 \begin{smallmatrix} +0.06 \\ +0.03 \end{smallmatrix}) \text{mm}$	4×3	超差 0.01mm 扣 1 分		
		12	$5 \begin{smallmatrix} 0.05 \\ 0 \end{smallmatrix} \text{mm}$	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		13	R8mm、R40mm	2	超差一处扣 1 分		
		14	Ra3.2μm	2	超差一处扣 1 分		
		15	工件轮廓形状完整	2	不完整一处扣 2 分		
	孔 (28)	16	φ10H8	2×3	超差 0.01mm 扣 1 分		
		17	(25±0.03) mm	2×3	超差 0.01mm 扣 1 分		
		18	φ24H8 (镗孔)	6	超差 0.01mm 扣 1 分		
		19	Ra1.6μm	2×3	超差一处扣 2 分		
		20	圆与台阶相切	2	不相切全扣		
		21	工件轮廓形状完整	2	不完整一处扣 2 分		

(续)

工件编号				总得分			
项目与配分		序号	技术要求	配分	评分标准	检测记录	得分
工件加工评分 (100)	其他 (6)	22	工件按时完成	2	未按时完成全扣		
		23	工件无过切等缺陷	2	缺陷一处扣2分		
		24	工件去毛倒棱 C0.3mm	2	酌情扣0~2分		
程序与工艺 (倒扣分)		25	程序正确合理	倒扣	每错一处扣1分		
		26	加工工艺正确	倒扣	不合理每处扣2分		
机床操作 (倒扣分)		27	机床操作规范	倒扣	出错一次扣2分		
		28	工件、刀具装夹规范	倒扣	出错一次扣2分		
安全文明生产 (倒扣分)		29	安全操作	倒扣	因安全事故停止操作 可酌情扣5~30分		
		30	整理机床	倒扣			

三、相关知识

镜像加工编程技巧如下：

在零件加工过程中，有时轮廓会出现对称的轮廓，例如本样例中的正面凸台轮廓，对于这些对称的轮廓，采用镜像编程可实现简化编程的目的。

1. FANUC 系统的镜像加工指令

在 FANUC 的一些老系统中通常采用 M 指令来实现镜像加工，在 FANUC 0i 及更新版本的数控系统中，则采用 G51 或 G51.1 来实现镜像加工。其指令格式如下：

格式一：G17 G51.1 X__ Y__；

G50.1；

X__ Y__用于指定对称轴或对称点。当 G51.1 指令后仅有一个坐标字时，该镜像以某一坐标轴为镜像轴。

例如 G51.1 X10.0；表示沿某一轴线进行镜像，该轴线与 Y 轴相平行且与 X 轴在 X=10.0 处相交。

当 G51.1 指令中同时有 X 和 Y 坐标字时，表示该镜像以某一点作为对称点进行镜像。例如以点（10，10）作为对称点的镜像指令如下：

G51.1 X10.0 Y10.0；

G50.1 表示取消镜像。

格式二：G17 G51 X__ Y__ I__ J__；

G50；

使用这种格式时，指令中的 I、J 值一定是负值，如果其为正值，则该指令变成了缩放指令。另外，如果 I、J 值虽是负值，且均不等于 -1，则执行该指令时，



既进行镜像,又进行缩放。

例如 G17 G51 X10.0 Y10.0 I-1.0 J-1.0;

执行该指令时,程序以坐标点(10.0, 10.0)进行镜像,不进行缩放。

例如 G17 G51 X10.0 Y10.0 I-2.0 J-1.5;

执行该指令时,程序在以坐标点(10.0, 10.0)进行镜像的同时,还要进行比例缩放,其中 X 轴方向的缩放比例为 2.0,而 Y 轴方向的缩放比例为 1.5。

同样, G50 表示取消镜像。

2. SIEMENS 系统的镜像加工指令

在 SIEMENS 802D/840D/810D 系统中采用“MIRROR”或“AMIRROR”指令来实现坐标镜像功能。其指令格式如下:

MIRROR X0 Y0 Z0;

AMIRROR X0 Y0 Z0;

例 1: G17 MIRROR X0;

例 2: G17 AMIRROR Y0;

MIRROR: 绝对可编程镜像,相对于 G54 ~ G59 设定当前有效坐标系的绝对镜像。

AMIRROR: 相对可编程镜像,参考当前有效设定或编程坐标系的补充镜像。

X0、Y0、Z0: 将改变方向的坐标轴。

例 1 表示在 G17 平面内沿 Y 坐标轴进行镜像,即沿 X 轴方向镜像。

例 2 表示在 G17 平面内沿 X 坐标轴进行补充镜像,即沿 Y 轴方向镜像。

3. 镜像编程注意事项

1) 在指定平面内执行镜像指令时,如果程序中有圆弧指令,则圆弧的旋转方向相反,即 G02 变成 G03,相应地, G03 变成 G02。

2) 在指定平面内执行镜像指令时,如果程序中有刀具半径补偿指令,则刀具半径补偿的偏置方向相反,即 G41 变成 G42,相应地, G42 变成 G41。

3) 在使用镜像功能时,由于数控机床的 Z 轴安装有刀具,所以一般情况下不在 Z 轴方向执行镜像功能。

4) 在可编程镜像方式中,不能指定返回参考点指令(G27、G28、G29、G30)和改变坐标系指令(G54 ~ G59, G92)。如果要指定其中的某一个,则必须在取消可编程镜像后指定。

5) SIEMENS 系统中使用镜像指令时,其镜像的原点为编程时的工件坐标系原点。MIRROR 后面如不带任何参数,则取消所有以前激活的框架指令。

4. 镜像编程示例

试用镜像指令编写图 9-2 所示轮廓的数控铣加工程序。

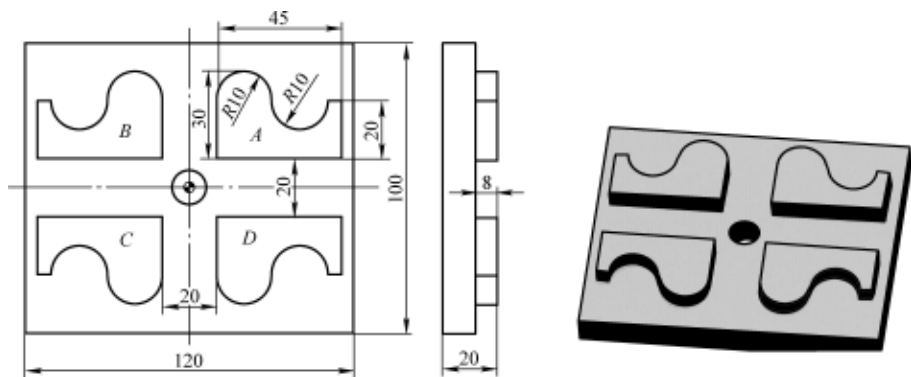


图 9-2 坐标镜像编程示例

```

00096;                                ( 主程序 )
.....
G00 X0 Y0;
S500 M03;
G01 Z -8.0 F100;
M98 P300;                            ( 调用子程序加工轨迹 A )
G51 X0 Y0 I -1.0 J1.0;              ( 调用子程序加工轨迹 B )
M98 P300;
G50;
G51 X0 Y0 I -1.0 J -1.0;            ( 以工件坐标系原点作为对称点 )
M98 P300;                            ( 调用子程序加工轨迹 C )
G50;
G51 X0 Y0 I1.0 J -1.0;              ( 调用子程序加工轨迹 D )
M98 P300;
G50;
.....

O300;                                ( 子程序 )
G41 G01 X10.0 Y0;
      Y30.0;
G02 X30.0 R10.0;
G03 X50.0 R10.0;
G01 X55.0;
      Y10.0;
      X0;
G40 G01 X0 Y0;
M99;

```

四、零件加工

1. 加工工艺分析

本例工件的加工过程与前一样例类似，请读者参照前一样例编写本例工件的加
工工艺卡。

2. 参考程序

本例工件的参考程序见表 9-2。

表 9-2 职业技能鉴定样例 9 参考程序

FANUC Oi 系统程序	SIEMENS 802D 系统程序	程序说明
O0091;	AA091. MPF	正面轮廓精加工程序
G90 G94 G21 G40 G54 F500;	G90 G94 G71 G40 G54 F500	程序初始化
G91 G28 Z0;	G74 Z0	Z 向返回参考点
M03 S3000;	T1D1 M03 S3000	主轴正转，转速为 3000r/min
G90 G00 X0 Y-50.0 M08;	G00 X0 Y-50.0 M08	加工正面凸台轮廓
Z20.0;	Z20.0	
G01 Z-10.0;	G01 Z-10.0	
M98 P0095;	BB091	
G51 X0 Y0 I-1.0 J1.0;	G17 AMIRROR Y0	
M98 P0095;	BB091	Z 向返回参考点
G00 Z20.0;	G00 Z20.0	
G91 G28 Z0 M09;	G74 Z0 M09	
M05;	M05	程序结束部分
M30;	M02	
O0095;	BB091. SPF	单个轮廓加工子程序
G41 G01 X16.0 D01;	G41 G01 X16.0	加工单个轮廓
Y-11.66;	Y-11.66	
G02 X9.47 Y-7.37 R7.0;	G02 X9.47 Y-7.37 CR=7.0	
G03 Y7.37 R12.0;	G03 Y7.37 CR=12.0	
G02 X8.0 Y11.66 R7.0;	G02 X8.0 Y11.66 CR=7.0	
G01 Y23.64;	G01 Y23.64	
G02 X18.75 Y29.55 R7.0;	G02 X18.75 Y29.55 CR=7.0	
G02 X28.75 Y19.96 R35.0;	G02 X28.75 Y19.96 CR=35.0	
G02 X30.0 Y15.97 R7.0;	G02 X30.0 Y15.97 CR=7.0	
G01 Y-15.97;	G01 Y-15.97	
G02 X28.75 Y-19.96 R7.0;	G02 X28.75 Y-19.96 CR=7.0	
G02 X18.75 Y-29.55 R35.0;	G02 X18.75 Y-29.55 CR=35.0	
G02 X8.0 Y-23.64 R7.0;	G02 X8.0 Y-23.64 CR=7.0	
G40 G01 X0 Y-40.0;	G40 G01 X0 Y-40.0	返回主程序
M99;	RET	

注：请读者自行编写反面内轮廓和精加工孔的加工程序。

五、样例小结

本例工件中两个相互对称的凸台轮廓，如果采用坐标镜像方式编程与加工，可以减少编程的工作量，但考虑到采用镜像方式进行加工时，镜像后的刀补方式和顺、逆铣加工方式将发生改变，从而降低了零件的加工精度。因此，在技能鉴定技能训练和考试过程中不建议采用镜像方式编程与加工，而采用坐标系旋转 180° 的编程方式来替代镜像编程，这样既可减少编程工作量，刀补方式和顺、逆铣加工方式也不会发生改变。

读者不妨试一试镜像编程与坐标系旋转 180° 编程后粗、精加工的效果。

职业技能鉴定样例

10

- 考核目标
- ◆ 复杂零件的编程与加工；
 - ◆ 复杂零件的加工工艺分析；
 - ◆ B 类宏程序；
 - ◆ 非圆曲线拟合方法及拟合误差；
 - ◆ 本样例宏程序编程思路。

一、考核要求

加工图 10-1 所示零件（坯件尺寸为 80mm × 80mm × 21mm），试分析其加工工艺并编写其数控铣加工程序。

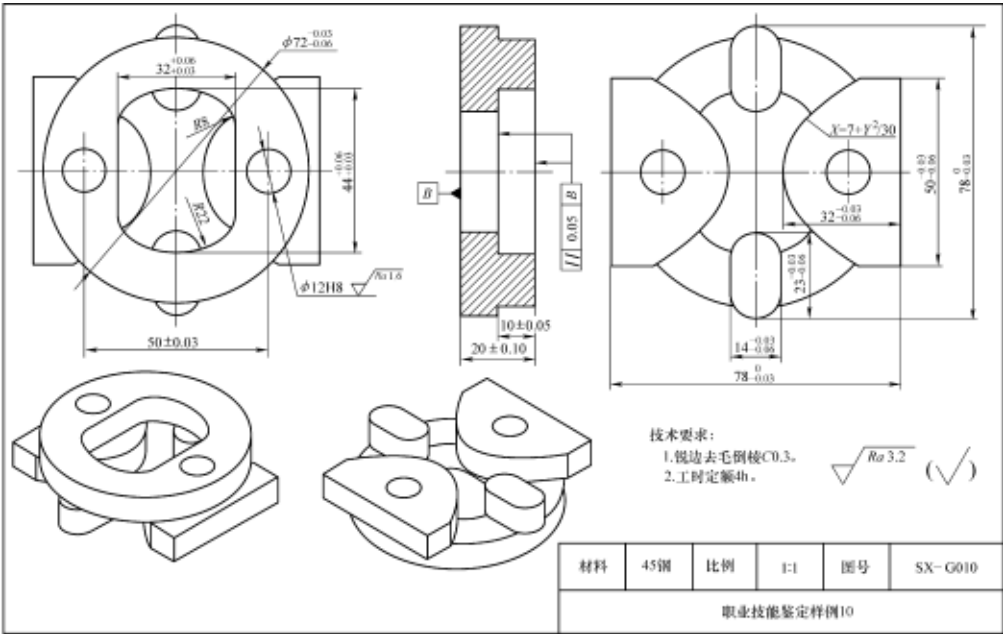


图 10-1 职业技能鉴定样例 10

二、加工准备与加工要求

1. 加工准备

本样例选择 TK7650 型 FANUC 0i 系统或 SIEMENS 802D 数控铣床或加工中心进行加工，编程方式采用手工编程，换刀方式采用手动换刀。

加工中使用的刀具、量具和工具参照表 1-1 进行配置，零件毛坯参照图 1-2 进行配置。

2. 加工要求分析

本样例的工时定额（包括编程与手动输入程序）为 4h，其加工要求见表 10-1。

表 10-1 职业技能鉴定样例 10 评分表

工件编号		总得分				
项目与配分	序号	技术要求	配分	评分标准	检测记录	得分
工件加工评分 (100)	正面 外形 轮廓 (36)	1 $\phi 72_{-0.06}^{-0.03}$ mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		2 $32_{+0.03}^{+0.06}$ mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		3 $44_{+0.03}^{+0.06}$ mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		4 (10 ± 0.05) mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		5 平行度 0.05mm	4 × 2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		6 (20 ± 0.10) mm	4	超差 0.02mm 扣 1 分		
		7 Ra3.2 μm	3	超差一处扣 1 分		
		8 R8mm、R22mm 等	2	超差一处扣 1 分		
		9 工件轮廓形状完整	3	不完整一处扣 2 分		
	反面 外形 轮廓 (42)	10 $78_{-0.06}^0$ mm	4 × 2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		11 $32_{-0.06}^{-0.03}$ mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		12 $50_{-0.06}^{-0.03}$ mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		13 $23_{-0.06}^{-0.03}$ mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		14 $14_{-0.06}^{-0.03}$ mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		15 曲线轮廓	5 × 2	超差一处扣 5 分		
		16 Ra3.2 μm	4	超差一处扣 1 分		
		17 工件轮廓形状完整	4	不完整一处扣 2 分		
	孔 (16)	18 $\phi 12H8$	3 × 2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		19 (50 ± 0.03) mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		20 Ra1.6 μm	2 × 2	超差一处扣 2 分		
		21 工件轮廓形状完整	2	不完整一处扣 2 分		
	其他 (6)	22 工件按时完成	2	未按时完成全扣		
		23 工件无过切等缺陷	2	缺陷一处扣 2 分		
		24 工件去毛倒棱 C0.3mm	2	酌情扣 0 ~ 2 分		

(续)

工件编号			总得分			
项目与配分	序号	技术要求	配分	评分标准	检测记录	得分
程序与工艺 (倒扣分)	25	程序正确合理	倒扣	每错一处扣1分		
	26	加工工艺正确	倒扣	不合理每处扣2分		
机床操作 (倒扣分)	27	机床操作规范	倒扣	出错一次扣2分		
	28	工件、刀具装夹规范	倒扣	出错一次扣2分		
安全文明生产 (倒扣分)	29	安全操作	倒扣	因安全事故停止操作可酌情扣5~30分		
	30	整理机床	倒扣			

三、相关知识

1. B 类型用户宏程序控制指令

控制指令起到控制程序流向的作用。

(1) 分支语句

格式一：GOTO n；

例如 GOTO 1000；

无条件转移语句，当执行该程序时，无条件转移到 N1000 程序段执行。

格式二：IF [条件表达式] GOTO n；

例如 IF [#1GT#100] GOTO 1000；

有条件转移语句，如果条件成立，则转到 N1000 程序段执行，如果条件不成立，则执行下一句程序。条件式的种类见表 10-2。

表 10-2 条件式的种类

条件式	意 义	具体示例
#i EQ #j	等于 (=)	IF [#5EQ#6] GOTO 100；
#i NE #j	不等于 (≠)	IF [#5NE100] GOTO 100；
#i GT #j	大于 (>)	IF [#5GT#6] GOTO 100；
#i GE #j	大于或等于 (≥)	IF [#5GE100] GOTO 100；
#i LT #j	小于 (<)	IF [#5LT#6] GOTO 100；
#i LE #j	小于或等于 (≤)	IF [#5LE100] GOTO 100；

(2) 循环指令

WHILE [条件式] DO m (m = 1, 2, 3…)；

.....

END m；

当条件式满足时，就循环执行 WHILE 与 END 之间的程序段 m 次；当条件不

满足时,就执行 END m 的下一个程序段。

2. 非圆曲线拟合方法及拟合误差

本例加工椭圆曲线和正弦曲线等非圆曲线时,通常通过一条条首尾连接的直线段来替代这些曲线,这种方法称为曲线拟合。

(1) 非圆曲线轮廓的拟合方法 目前大多数数控系统还不具备非圆曲线的插补功能,因此加工这些非圆曲线时,通常采用直线段或圆弧线段拟合的方法进行。常用的手工编程拟合计算方法有等间距法、等插补段法和三点定圆法等几种。

等间距法(图 10-2)是指在一个坐标轴方向,将拟合轮廓的总增量(如果在极坐标系中,则指转角或径向坐标的总增量)进行等分后,对其设定节点所进行的坐标值计算方法。

采用这种方法进行手工编程时,容易控制其非圆曲线或立体型面的节点。因此,宏程序编程普遍采用这种方法。

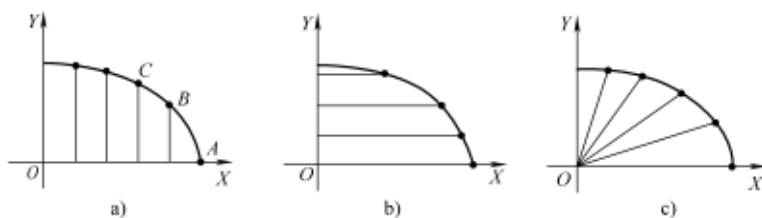


图 10-2 非圆曲线节点的等间距拟合

a) 等 X 值 b) 等 Y 值 c) 等角度值

等插补段法指相邻两节点间的弦长相等的一种编程方法。三点定圆法的实质是过已知曲线上的三点(包括圆心和半径)作一圆。

(2) 非圆曲线拟合误差分析 在非圆曲线的拟合过程中,不可避免会产生拟合误差(见图 10-3),但其误差值不能超出规定值。通常情况下,拟合误差 δ 应小于或等于编程允许误差 $\delta_{允}$,即 $\delta \leq \delta_{允}$ 。考虑到工艺系统及计算误差的影响, $\delta_{允}$ 一般取零件公差 $1/10 \sim 1/5$ 。

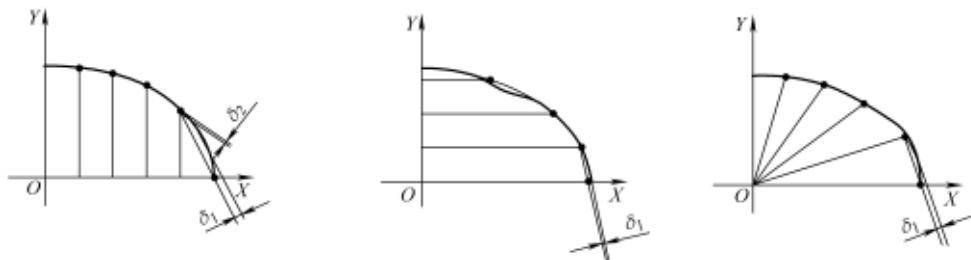


图 10-3 非圆曲线拟合误差分析

在实际编程过程中，主要采用以下几种方法来减小拟合误差：

- 1) 采用合适的拟合方法。相比较而言，采用圆弧拟合方法的拟合误差要小一些。
- 2) 减小拟合线段的长度。逼近线段的近似区间越大，测点数目越少，相应的逼近误差也就越大。因此，减小拟合线段的长度可以减小拟合误差，但增加了编程的工作量。
- 3) 运用计算机进行曲线拟合计算。采用计算机进行曲线的拟合，在拟合过程中自动控制拟合精度，以减小拟合误差。

四、零件加工

1. 宏程序编程思路分析

本例采用 Y 方向上的等间距直线段来拟合抛物线曲线。Y 为自变量，每次增量为 0.2mm，X 坐标为应变量， $X = 7 + Y^2/30$ 。另外由于抛物线曲线的原点与工件坐标系的原点不重合，因此编程时应注意相互之间的换算关系。

本例编程时使用以下变量进行运算：

- #2：曲线公式中的 Y 坐标，其初始值为 25.0。
- #1：曲线公式中的 X 坐标，其值为 $7 + \#2 * \#2/30$ 。

2. 参考程序

本例工件的参考程序见表 10-3。

表 10-3 职业技能鉴定样例 10 参考程序

FANUC Oi 系统程序	SIEMENS 802D 系统程序	程序说明
O0101；	AA101. MPF	正面轮廓精加工程序
G90 G94 G21 G40 G54 F500；	G90 G94 G71 G40 G54 F500	程序初始化
G91 G28 Z0；	G74 Z0	Z 向返回参考点
M03 S3000；	T1D1 M03 S3000	主轴正转，转速为 3000r/min
G90 G00 X50.0 Y50.0 M08；	G00 X50.0 Y50.0 M08	刀具定位
Z20.0；	Z20.0	
G01 Z-10.0；	G01 Z-10.0	
M98 P0105；	BB101	加工右侧非圆曲线
M98 P0106；	CC101	加工上方键形
G00 Z5.0；	G00 Z5.0	刀具重新定位
X-50.0 Y-50.0	X-50.0 Y-50.0	
G01 Z-10.0；	G01 Z-10.0	
G68 X0 Y0 R90.0；	ROT RPL=90.0	坐标旋转
M98 P0105；	BB101	加工左侧非圆曲线

(续)

FANUC 0i 系统程序	SIEMENS 802D 系统程序	程序说明
M98 P0106;	CC101	加工下方键形
G69;	ROT	取消坐标旋转
G00 Z20.0;	G00 Z20.0	Z 向返回参考点
G91 G28 Z0 M09;	G74 Z0 M09	
M05;	M05	程序结束部分
M30;	M02	
O0105;	BB101. SPF	非圆曲线加工子程序
G41 G01 X39.0 D01;	G41 G01 X39.0	加工右侧非圆曲线轮廓
Y - 25.0;	Y - 25.0	
#2 = - 25.0;	R2 = - 25.0	
N100 #1 = 7 + #2 * #2/30	MA1: R1 = 7 + R2 * R2/30	
G01 X#1 Y#2;	G01 X = R1 Y = R2	
#2 = #2 + 0.2;	R2 = R2 + 0.2	
IF [#2 LE 25.0] GOTO 100;	IF R2 < = 25.0 GOTOB MA1	
G01 X40.0;	G01 X40.0	
G40 X20.0 Y50.0;	G40 X20.0 Y50.0	返回主程序
M99;	RET	
O0106;	CC101. SPF	单个键形子程序
G41 G01 X7.0 D01;	G41 G01 X7.0	加工键形轮廓
Y23.0;	Y23.0	
G02 X - 7.0 R7.0;	G02 X - 7.0 CR = 7.0	
G01 Y32.0;	G01 Y32.0	
G02 X7.0 R7.0;	G02 X7.0 CR = 7.0	
G40 X20.0 Y50.0;	G40 X20.0 Y50.0	返回主程序
M99;	RET	

五、样例小结

采用刀具半径补偿方式加工非圆曲线，如果采用宏程序方式或参数编程方式编写其加工指令，首先应注意非圆曲线的起始点和结束点不要重复进行加工，即在同一程序中刀具不能重复经过起始点和结束点；其次应注意程序中的曲线轮廓圆弧半径不能小于刀具半径值。

与样例9一样，本例的正面轮廓既可采用镜像指令进行编程，也可采用坐标旋转指令进行编程，请读者思考为什么采用坐标旋转指令更适宜保证零件的加工精度。

职业技能鉴定样例

11

考核目标

- ◆ 复杂零件的编程与加工；
- ◆ 复杂零件的加工工艺分析；
- ◆ R 参数编程；
- ◆ 椭圆的极坐标表示方法；
- ◆ 本样例参数编程思路。

一、考核要求

加工图 11-1 所示零件（坯件尺寸为 80mm × 80mm × 21mm），试分析其加工工艺并编写其数控铣加工程序。

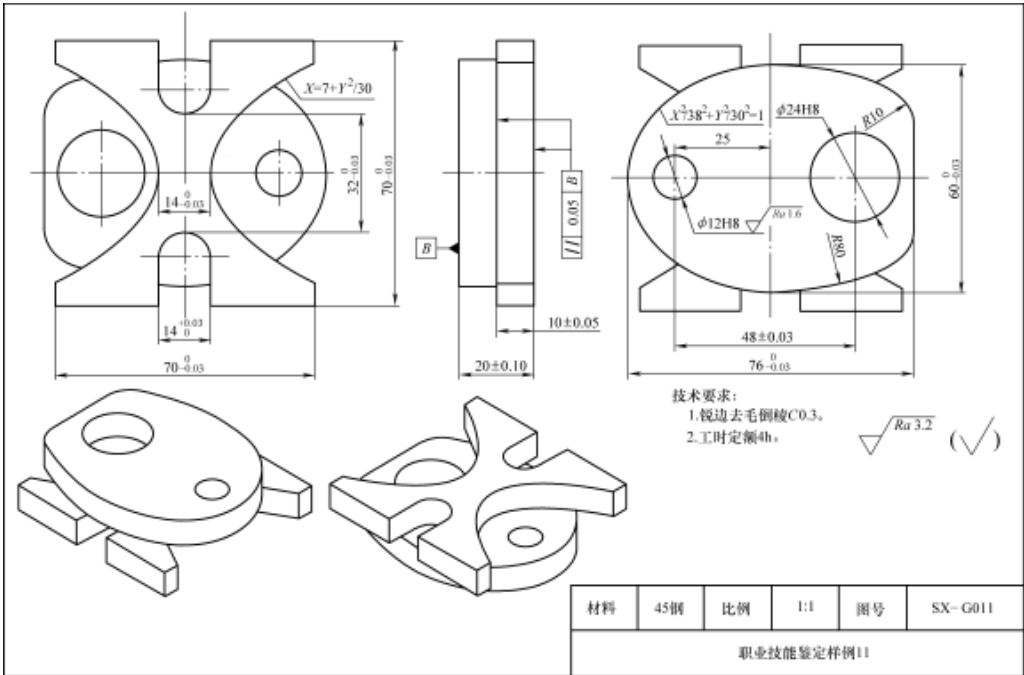


图 11-1 职业技能鉴定样例 11

二、加工准备与加工要求

1. 加工准备

本样例选择 TK7650 型 FANUC 0i 系统或 SIEMENS 802D 数控铣床或加工中心进行加工，编程方式采用手工编程，换刀方式采用手动换刀。

加工中使用的刀具、量具和工具参照表 1-1 进行配置，零件毛坯参照图 1-2 进行配置。

2. 加工要求

本样例的工时定额（包括编程与手动输入程序）为 4h，其加工要求见表 11-1。

表 11-1 职业技能鉴定样例 11 评分表

工件编号		总得分				
项目与配分	序号	技术要求	配分	评分标准	检测记录	得分
工件加工评分 (100)	正面外形轮廓 (56)	1 70 ⁰ _{-0.03} mm	4×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		2 14 ^{+0.03} ₀ mm	4×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		3 14 ⁰ _{-0.03} mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		4 32 ⁰ _{-0.03} mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		5 曲线轮廓	5×2	超差一处扣 5 分		
		6 (10±0.05) mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		7 平行度 0.05mm	4×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		8 (20±0.10) mm	4	超差 0.02mm 扣 1 分		
		9 Ra3.2μm	3	超差一处扣 1 分		
		10 工件轮廓形状完整	3	不完整一处扣 2 分		
	反面外形轮廓 (20)	11 76 ⁰ _{-0.03} mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		12 60 ⁰ _{-0.03} mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		13 椭圆轮廓正确	5	超差 0.01mm 扣 1 分		
		14 R80mm、R10mm 等	2	每错一处扣 1 分		
		15 Ra3.2μm	2	超差一处扣 1 分		
		16 工件轮廓形状完整	3	不完整一处扣 2 分		
	孔 (18)	17 φ12H8	2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		18 φ24H8（镗孔）	6	超差 0.01mm 扣 1 分		
		19 (48±0.03) mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		20 Ra1.6μm	2×2	超差一处扣 2 分		
		21 工件轮廓形状完整	2	不完整一处扣 2 分		
	其他 (6)	22 工件按时完成	2	未按时完成全扣		
		23 工件无过切等缺陷	2	缺陷一处扣 2 分		
		24 工件去毛倒棱 C0.3mm	2	酌情扣 0~2 分		

(续)

工件编号			总得分			
项目与配分	序号	技术要求	配分	评分标准	检测记录	得分
程序与工艺 (倒扣分)	25	程序正确合理	倒扣	每错一处扣 1 分		
	26	加工工艺正确	倒扣	不合理每处扣 2 分		
机床操作 (倒扣分)	27	机床操作规范	倒扣	出错一次扣 2 分		
	28	工件、刀具装夹规范	倒扣	出错一次扣 2 分		
安全文明生产 (倒扣分)	29	安全操作	倒扣	因安全事故停止操作可酌情扣 5 ~ 30 分		
	30	整理机床	倒扣			

三、相关知识

1. R 参数编程中的跳转指令

跳转指令起到控制程序流向的作用。

(1) 无条件跳跃 无条件跳跃的指令格式如下：

GOTOB MA1；

GOTOF MA1；

GOTOB：带向后跳转目的的跳转指令（朝程序开头跳转）；

GOTOF：带向前跳转目的的跳转指令（朝程序结尾跳转）；

MA1：跳跃目标，程序内标号。如果写成“MA1:”则可跳跃到其他程序名中去。

例如……

N20 GOTOF MA2 （向前跳转到 MA2）

N30 MA1：R1 = R1 + R2 （MA1）

……

N60 MA2：R5 = R5 - R2 （MA2）

……

N100 GOTOB MA1； （向后跳转到 MA1）

……

无条件跳转指令，当执行到程序段 N20 时，无条件向前跳转到标记符“MA2”即程序段 N60 处执行，而当执行到程序段 N100 时，无条件向后跳转到标记符“MA1”即程序段 N30 处执行。

(2) 条件跳跃指令 条件跳跃的指令格式如下：

IF 条件表达式 GOTOB LABEL；

IF 条件表达式 GOTOF LABEL；

IF：跳转条件引入符；

条件表达式：跳跃条件既可以是比较关系，也可以是逻辑操作（结果为 TRUE 或 FALSE，如果结果是 TRUE，则实行跳跃）。

常用的运算比较符书写方式见表 11-2。

表 11-2 运算比较符书写方式

运算符	书写方式	运算符	书写方式
等于	= =	大于	>
不等于	< >	小于或等于	< =
小于	<	大于或等于	> =

例如 IF R1 > = R2 GOTOB MA1;

条件表达式为单一比较式，如果 R1 大于或等于 R2，那么跳跃到 MA1。

2. 椭圆曲线的极坐标表示方法

椭圆曲线除了采用公式“ $X^2/a^2 + Y^2/b^2 = 1$ ”（其中 a 和 b 为半轴长度）来表示外，还可采用极坐标来表示，其公式为“ $X = a \cos \alpha$, $Y = b \sin \alpha$ （ α 为极角）”。对于极坐标的极角“ α ”，应特别注意除了椭圆上四分点处的极角（ α ）等于几何角度（ β ）外，其余各点处的极角与几何角度不相等，在编程中一定要加以注意。

椭圆某点处极角的画法如图 11-2 所示，如要确定椭圆上 A 的极角，方法如下：先以长轴为半径，椭圆中心为圆心画圆，再通过椭圆上的 A 点画垂直线，分别与圆和 X 轴相交于 F 点和 C 点，则 $\angle COF$ 即为椭圆上 A 点处的极角，很显然， A 点处的极角和几何角度完全不同。

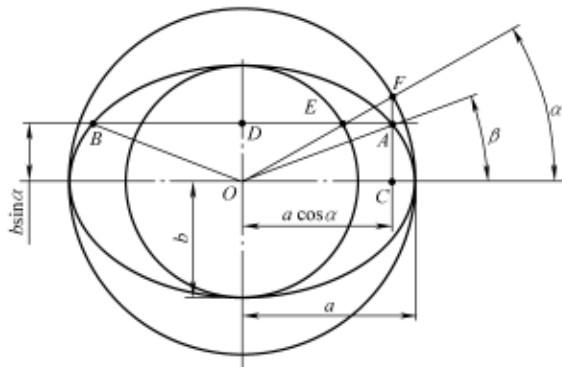


图 11-2 椭圆曲线的极坐标表示方法

四、零件加工

1. R 参数编程思路分析

（1）抛物线编程思路 本例采用 Y 方向上的等间距直线段来拟合抛物线曲线。 Y 为自变量，每次增量为 0.2mm ， X 坐标为应变变量， $X = 7 + Y^2/30$ 。编程过程中使用以下变量进行运算：

R2：曲线公式中的 Y 坐标，其初始值为 -28.983 。

R1：曲线公式中的 X 坐标，其值为 $7 + \#2 * \#2/30$ 。

（2）椭圆编程思路 本例椭圆采用极角方式进行参数编程，编程过程中以 α 作为自变量，每次角度增量为 1° ，而坐标 X 和 Y 是应变量，则公式中的坐标为： $X = 38\cos\alpha$ ， $Y = 30\sin\alpha$ 。编程过程中使用以下变量进行运算：

R1：椭圆上各点对应的极角 α ，其值为 $270^\circ \sim 90^\circ$ ；

R2：曲线公式中的 X 坐标与工件坐标系中的 X 坐标相同， $X = 38\cos (R1)$ ；

R3：曲线公式中的 Y 坐标与工件坐标系中的 Y 坐标相同， $Y = 30\sin (R1)$ 。

2. 参考程序

本例工件的参考程序见表 11-3。

表 11-3 职业技能鉴定样例 11 参考程序

FANUC Oi 系统程序	SIEMENS 802D 系统程序	程序说明
O0111；	AA111.MPF	正面轮廓精加工程序
G90 G94 G21 G40 G54 F500；	G90 G94 G71 G40 G54 F500	程序初始化
G91 G28 Z0；	G74 Z0	Z 向返回参考点
M03 S3000；	T1D1 M03 S3000	主轴正转，转速为 3000r/min
G90 G00 X-50.0 Y-50.0 M08；	G00 X-50.0 Y-50.0 M08	刀具定位
Z20.0；	Z20.0	
G01 Z-10.0；	G01 Z-10.0	
M98 P0115；	BB111	加工左侧非圆曲线
G00 Z5.0；	G00 Z5.0	刀具重新定位
X50.0 Y50.0	X50.0 Y50.0	
G01 Z-10.0；	G01 Z-10.0	
G68 X0 Y0 R90.0；	ROT RPL=90.0	坐标旋转
M98 P0115；	BB111	加工右侧非圆曲线
G69；	ROT	取消坐标旋转
G00 Z20.0；	G00 Z20.0	Z 向返回参考点
G91 G28 Z0 M09；	G74 Z0 M09	
M05；	M05	程序结束部分
M30；	M02	

(续)

FANUC Oi 系统程序	SIEMENS 802D 系统程序	程序说明
O0115;	BB111. SPF	非圆曲线加工子程序
G41 G01 X - 35.0 D01;	G41 G01 X - 35.0	加工左侧非圆曲线轮廓
Y - 28.983;	Y - 28.983	
#2 = - 28.783;	R2 = - 28.783	
N100 #1 = - 7 - #2 * #2/30;	MA1: R1 = - 7 - R2 * R2/30	
G01 X#1 Y#2;	G01 X = R1 Y = R2	
#2 = #2 + 0.2;	R2 = R2 + 0.2	
IF [#2 LE 28.983] GOTO 100;	IF R2 < = 28.983 GOTOB MA1	
G01 Y35.0;	G01 Y35.0	
X - 7.0;	X - 7.0	
Y23.0;	Y23.0	
G03 X7.0 R7.0;	G03 X7.0 CR = 7.0	
G01 Y35.0;	G01 Y35.0	
X40.0;	X40.0;	
G40 X50.0 Y50.0;	G40 X50.0 Y50.0	
M99;	RET	返回主程序
O0112;	AA112. MPF	反面轮廓精加工程序
G90 G94 G21 G40 G54 F500;	G90 G94 G71 G40 G54 F500	程序开始部分
G91 G28 Z0;	G74 Z0	
M03 S3000;	T1D1 M03 S3000	
G90 G00 X50.0 Y50.0 M08;	G00 X50.0 Y50.0 M08	
Z20.0;	Z20.0	
G01 Z - 10.0;	G01 Z - 10.0	
G41 G01 X38.0 D01;	G41 G01 X38.0	加工右侧及下方圆弧轮廓
Y - 14.16;	Y - 14.16	
G02 X32.0 Y - 23.32 R10.0;	G02 X32.0 Y - 23.32 CR = 10.0	
G02 X0 Y - 30.0 R80.0;	G02 X0 Y - 30.0 CR = 80.0	
#1 = 269.0;	R1 = 269.0	加工椭圆
N100 #2 = 38.0 * COS [#1];	MA1: R2 = 38.0 * COS (R1)	
#3 = 30.0 * SIN [#1] ;	R3 = 30.0 * SIN (R1)	
G01 X#2 Y#3;	G01 X = R2 Y = R3	
#1 = #1 - 1.0;	R1 = R1 - 1.0	
IF [#1 GE 90.0] GOTO 100;	IF R1 > 90.0 GOTOB MA1	



(续)

FANUC Oi 系统程序	SIEMENS 802D 系统程序	程序说明
G02 X32.0 Y23.32 R80.0;	G02 X32.0 Y23.32 CR=80.0	加工上方圆弧
G02 X38.0 Y14.16 R10.0;	G02 X38.0 Y14.16 CR=10.0	
G40 G01 X50.0 Y50.0;	G40 G01 X50.0 Y50.0	取消刀具补偿
G91 G28 Z0 M09;	G74 Z0 M09	程序结束部分
M05;	M05	
M30;	M02	

注：请读者自行采用 CAD 软件进行基点坐标分析。

五、样例小结

采用宏程序编写轮廓类非圆曲线的加工程序时，设定变量或参数时，均可用固定的模式来进行设定，通常设定 4 个变量或参数，这 4 个变量分别为公式中的 X 坐标、公式中的 Y 坐标、工件坐标系中 X 坐标和工件坐标系中的 Y 坐标。而公式中的坐标值与工件坐标系中的坐标系的差值依据是工件坐标系原点与公式原点之间的距离，如果两个原点重合，则公式中的坐标值与工件坐标系中的坐标值相同，亦即只要设置 2 个变量或参数即可。请读者根据本书中的曲线轮廓编程实例加以归纳总结。

职业技能鉴定样例

12

考核目标

- ◆ 复杂零件的编程与加工；
- ◆ 复杂零件的加工工艺分析；
- ◆ 刀具材料选择的技巧；
- ◆ 正确使用立铣刀的技巧。

一、考核要求

加工图 12-1 所示零件（坯件尺寸为 80mm × 80mm × 21mm），试分析其加工工艺并编写其数控铣加工程序。

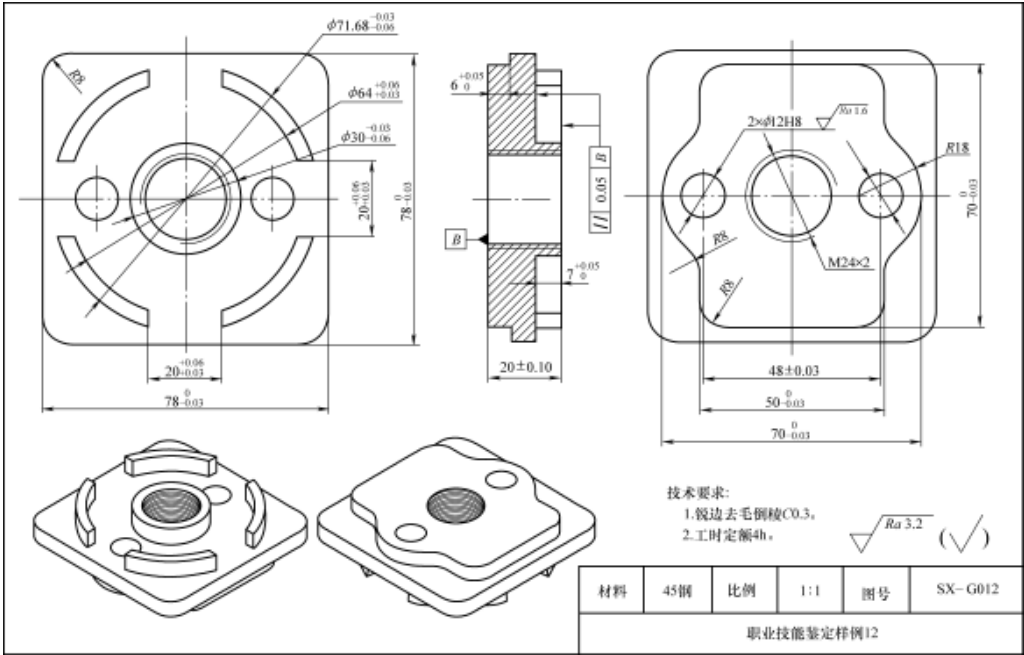


图 12-1 职业技能鉴定样例 12

二、加工准备与加工要求

1. 加工准备

本样例选择 TK7650 型 FANUC 0i 系统或 SIEMENS 802D 数控铣床或加工中心进行加工，编程方式采用手工编程，换刀方式采用手动换刀。

加工中使用的刀具、量具和工具参照表 1-1 进行配置，零件毛坯参照图 1-2 进行配置。

2. 加工要求

本样例的工时定额（包括编程与手动输入程序）为 4h，其加工要求见表 12-1。

表 12-1 职业技能鉴定样例 12 评分表

工件编号		总得分					
项目与配分		序号	技术要求	配分	评分标准	检测记录	得分
工件加工评分 (100)	正面外形轮廓 (50)	1	$78^{+0}_{-0.03}\text{mm}$	4×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		2	$\phi 71.68^{+0.03}_{-0.06}\text{mm}$	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		3	$\phi 30^{+0.03}_{-0.06}\text{mm}$	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		4	$\phi 64^{+0.06}_{+0.03}\text{mm}$	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		5	$20^{+0.06}_{+0.03}\text{mm}$	4×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		6	$7^{+0.05}_0\text{mm}$	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		7	平行度 0.05mm	4×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		8	(20±0.10) mm	4	超差 0.02mm 扣 1 分		
		9	Ra3.2μm	3	超差一处扣 1 分		
		10	工件轮廓形状完整	3	不完整一处扣 2 分		
	反面外形轮廓 (22)	11	$70^{+0}_{-0.03}\text{mm}$	4×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		12	$50^{+0}_{-0.03}\text{mm}$	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		13	$6^{+0.05}_0\text{mm}$	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		14	R8mm、R18mm 等	2	超差一处扣 1 分		
		15	Ra3.2μm	2	超差一处扣 1 分		
		16	工件轮廓形状完整	2	不完整一处扣 2 分		
	孔 (22)	17	φ12H8	3×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		18	(48±0.03) mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		19	Ra1.6μm	2×2	超差一处扣 2 分		
		20	M24×2	6	超差 0.01mm 扣 1 分		
		21	工件轮廓形状完整	2	不完整一处扣 2 分		
	其他 (6)	22	工件按时完成	2	未按时完成全扣		
		23	工件无过切等缺陷	2	缺陷一处扣 2 分		
		24	工件去毛倒棱 C0.3mm	2	酌情扣 0~2 分		

(续)

工件编号			总得分			
项目与配分	序号	技术要求	配分	评分标准	检测记录	得分
程序与工艺 (倒扣分)	25	程序正确合理	倒扣	每错一处扣 1 分		
	26	加工工艺正确	倒扣	不合理每处扣 2 分		
机床操作 (倒扣分)	27	机床操作规范	倒扣	出错一次扣 2 分		
	28	工件、刀具装夹规范	倒扣	出错一次扣 2 分		
安全文明生产 (倒扣分)	29	安全操作	倒扣	因安全事故停止操作可酌情扣 5 ~ 30 分		
	30	整理机床	倒扣			

三、相关知识

1. 刀具材料的选择

(1) 刀具材料应具备的基本性能

1) 高硬度。刀具材料的硬度应大于工件材料的硬度。通常高速钢的硬度为 60 ~ 70HRC，硬质合金的硬度为 89 ~ 93HRA。

2) 足够的强度和韧性。刀具切削部分在切削过程中承受很大的切削力和冲击力，因此刀具材料必须具有足够的强度和韧性。

3) 高耐磨性和高耐热性。刀具材料的耐磨性是指刀具抵抗磨损的能力。刀具的耐热性是指刀具在高温下保持较高硬度的性能，又称为“高温硬度”或“热硬性”。

4) 良好的导热性。刀具的导热性越好，则切削过程中产生的热量就越容易传导出去，从而降低切削部分的温度，减轻刀具磨损。

5) 良好的工艺性和经济性。为了便于制造，要求刀具材料具有较好的可加工性。另外刀具的制造成本也是选择刀具的关键。

6) 抗粘结性和化学稳定性。刀具的抗粘结性是指工件与刀具材料分子在高温高压作用下抵抗互相吸附而产生粘结的能力。刀具的化学稳定性是指刀具材料在高温下不易与周围材料发生化学反应的能力。

(2) 常用刀具材料 常用的数控刀具材料有高速钢、硬质合金、涂层硬质合金、陶瓷、立方氮化硼、金刚石等。其中，高速钢、硬质合金和涂层硬质合金在数控铣削刀具中应用最广。

1) 高速钢。高速钢是指加了较多的钨、钼、铬、钒等合金元素的高合金工具钢，其常用的牌号有 W18Cr4V、W14Cr4VCo5 和 W6Mo5Cr4V2 等。高速钢铣刀具有较高强度和韧性，主要用于复杂刀具和精加工刀具，但刀具耐热性差。该刀具材料的适用性较广，能适用各种金属的加工，由于其耐热性差，因此不适用于高速切削。

2) 硬质合金。硬质合金分成钨钴(K)类(代号为YG)、钨钛钴(P)类(代号为YT)、钨钛钽钴(M)类(代号为YW)等几种。常用刀具牌号有YG3、YG6、YG8、YT5、YT15、YT30、YW1、YW2等。硬质合金具有高硬度、高耐磨性、高耐热性的特点,但其抗弯强度和冲击韧性较差,因此该材料适用于精加工或加工钢及韧性较大的塑性金属。

3) 涂层硬质合金。涂层硬质合金是在普通硬质合金的基体上通过“涂镀”新工艺而得到的,使得其耐磨、耐热和耐腐蚀性能得到大大提高。因此,其使用寿命比普通硬质合金至少可提高1~3倍。

4) 陶瓷。陶瓷刀具是以 Al_2O_3 (氧化铝)或以 Si_3N_4 (氮化硅)为基体再添加少量金属,在高温下烧结而成的一种刀具材料。其硬度可达91~95HRA,耐磨性比硬质合金高十几倍。该材料具有很高的硬度和耐磨性,很强的耐高温性和较低的摩擦因数,另外该刀具材料与多种金属材料的亲和力小,化学稳定性高。因此,陶瓷刀片是加工淬硬钢(达65HRC左右)及其他难加工材料的首选刀具。

5) 其他高硬度刀具材料。立方氮化硼及金刚石材料具有极高的硬度和耐磨性,分别适用于精加工各种淬硬钢及高速精加工钛或铝合金工件,但不宜承受冲击和低速切削,也不宜加工软金属,且价格较高。

(3) 刀具材料性能比较 以上各刀具材料的硬度和韧性对比如图12-2所示。通常情况下,希望得到的理想刀具材料是该刀具材料既具较高的硬度,又具有较好的韧性。

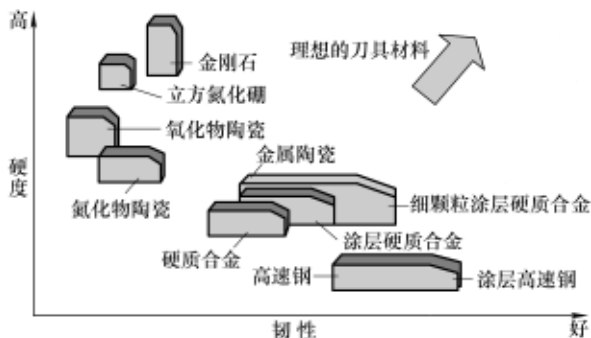


图 12-2 不同刀具材料的硬度与韧性

(4) 刀具材料选择技巧 根据各种刀具材料的加工特点,粗加工轮廓时,选择高速钢刀具进行加工。精加工轮廓时,则选择硬质合金进行加工。如采用高速钢进行轮廓精加工,由于高速钢刀具具有较好的韧性,加工表面容易产生倒锥形(下大上小)加工误差。

当前刀具材料的发展趋势是:硬质合金刀具应用范围继续扩大,硬质合金与高速钢两种粉末的复合材料将代替一部分高速钢刀具;超硬刀具材料的使用将明显增加。对于硬质合金,其牌号后的数字(如YT15中的数字“15”)表示了刀具硬度和韧性等性能,数字越小,硬度越高,韧性越差。

刀具的涂层技术在这几年的刀具制造中得到了广泛的运用，通过刀具的涂层，既保持了普通刀片基体的强度和韧性，又使刀具表面具有较高的硬度和耐磨性，从而解决了材料硬度、强度和韧性之间的矛盾。当前有 70% ~ 80% 的刀片和 50% 以上的整体刀具已使用了刀具涂层技术。

2. 正确使用立铣刀的技巧

立铣刀在使用过程中，如果使用不当，会出现刀具折断、崩刃、磨损快、加工表面质量下降等各种不良现象。在加工过程中刀具的损坏，很多时候不是自然因素造成的，而是由于操作者使用不当造成的。因此，为了提高机床和刀具的利用率，降低加工成本，提高零件的加工精度，操作者应根据加工过程中刀具出现的不良现象来判断其产生原因，并能提出改进措施。现将立铣刀在使用过程中出现不良情况的改进措施列于表 12-2，供读者参考。

表 12-2 立铣刀使用问题解析

使用问题		解决措施
刀具折断 (使用整体小直径或钎焊小直径立铣刀)	刀具切入工件时	降低进给速度
	刀具铣出工件时	减小刀具悬伸量
		把切削刃缩短至必要长度的最小限度
	正常加工时	降低进给速度
		控制磨损量，尽早更换刀具
		减小刀具悬伸量
		如果使用 4 刃立铣刀，更换成 3 刃或 2 刃立铣刀
		采用切削液冷却，保证切削液流量足够
	进给方向变更时	降低更换方向时的进给速度
		检查夹具或弹簧夹头是否磨损
崩刃	刀尖部分崩刃	刀尖部分倒圆角或倒角
		如果是顺铣则改为逆铣
	切深界面部分崩刃	降低进给速度
		如果是顺铣则改为逆铣
	崩刃分布在中央部分或者遍布整个切削刃	进行钝化倒棱或加工倒棱
		改变主轴转速，提高切削速度
		铣削中有摩擦声音时提高进给速度
		改变冷却方式，增加切削液流量
		更换夹具或弹簧夹头
	切削刃处有大崩刃	减小进给量
		如果使用 4 刃立铣刀，更换成 3 刃或 2 刃立铣刀
		进行钝化倒棱或加工倒棱
		改变冷却方式，增加切削液流量

(续)

使用问题		解决措施
刀具磨损过快		降低切削速度
		如果是逆铣则改为顺铣
		增加切削液流量
		加大进给速度
		如果是重磨的立铣刀，应提高背面的粗糙度
已加工表面不良	表面光洁，但凹凸较大	降低进给速度
		如果是 2 刃立铣刀，改成 4 刃立铣刀
	切屑短细，但有粘屑	提高切削速度
		改变冷却方式，增加切削液流量
		刀尖进行微小倒圆钝化处理
		如果是逆铣则改为顺铣
	有横向切痕	刀尖进行微小倒圆钝化处理
		使用非水溶性切削液
		将顺铣改为逆铣
	残留有过渡切痕	减小切削余量
		提高切削速度
		减小进给速度
形状精度不良	精加工尺寸偏小	将逆铣改为顺铣
		减小切削余量
		检查夹具或弹簧夹头是否磨损
		减小刀具悬伸量
		提高切削速度
	垂直度不良	减小切削余量
		减小刀具悬伸量
		提高切削速度
		减小进给速度
		如果是 2 刃立铣刀，改成 4 刃立铣刀
		检查刀具磨损量，及时更换刀具
产生振动	加大进给量（ 0. 04mm/齿以上时减小）	
	改变切削速度	
	减小刀具悬伸量	
	粗铣用 2 刃刀具，精铣用 4 刃刀具	
	将逆铣改为顺铣	

四、零件加工

1. 编制本样例的加工工艺卡（见表 12-3）

表 12-3 样例 12 加工工艺卡

工 步 号	工步内容（加工面）	刀 具 号	刀具规格	主轴 转速/ (r/min)	进给 速度/ (mm/min)	背吃刀 量/mm
1	平面铣削	T01	φ80mm 盘铣刀	600	400	1
2	中心钻定位（定位 3 个孔）	T02	B2.5 中心钻	3000	50	0.5D
3	钻孔（钻 3 个孔）	T03	φ8mm 钻头	600	100	0.5D
4	粗加工反面外轮廓	T04	φ14mm 立铣刀	500	100	10
5	精加工反面外轮廓	T05	φ12mm 立铣刀	3000	500	10
6	扩孔（扩 2 个孔）	T06	φ11.8mm 钻头	600	60	1.9
7	铰孔	T07	φ12H8 铰刀	200	80	0.1
8	立铣刀扩孔至 φ22mm	T04	φ14mm 立铣刀	500	100	8
9	铣螺纹	T08	螺纹铣刀	1500	80	1
10	粗加工正面外轮廓	T09	φ12mm 立铣刀	700	100	7
11	精加工正面外轮廓	T05	φ12mm 立铣刀	3000	500	7
12	工件去毛倒棱					
编制		审核		批准		共__页 第__页

注：1. 粗加工轮廓刀具材质为高速钢，精加工刀具材质为硬质合金。
2. D 指刀具（钻头）直径。

2. 参考程序

本例工件的参考程序见表 12-4。

表 12-4 职业技能鉴定样例 12 参考程序

FANUC Oi 系统程序	SIEMENS 802D 系统程序	程序说明
O0111;	AA111. MPF	正面轮廓精加工程序
G90 G94 G21 G40 G54 F500;	G90 G94 G71 G40 G54 F500	程序初始化
G91 G28 Z0;	G74 Z0	Z 向返回参考点
M03 S3000;	T1D1 M03 S3000	主轴正转，转速为 3000r/min



(续)

FANUC Oi 系统程序	SIEMENS 802D 系统程序	程序说明
G90 G00 X50.0 Y0 M08;	G00 X50.0 Y0 M08	刀具定位
Z20.0;	Z20.0	
G01 Z-7.0;	G01 Z-7.0	
G41 G01 X35.84 D01;	G41 G01 X35.84	加工外圆
G02 I-35.84;	G02 I-35.84	
G40 X50.0 Y0;	G40 X50.0 Y0	
G41 G01 X32.0 D01;	G41 G01 X32.0	加工内圆
G03 I-32.0;	G02 I-32.0	
G40 G01 X24.0 Y0;	G40 G01 X24.0 Y0	
G41 G01 X15.0 Y5.0 D01;	G41 G01 X15.0 Y5.0	加工中间凸台圆
Y0;	Y0	
G02 I-15.0;	G02 I-15.0	
G40 G01 X50.0 Y0;	G40 G01 X50.0 Y0	
G41 G01 X39.0 Y10.0 D01;	G41 G01 X39.0 Y10.0	加工右侧圆弧直边
X20.0;	X20.0	
Y-10.0;	Y-10.0	
X39.0;	X39.0	
G41 G01 X50.0 Y0 D01;	G41 G01 X50.0 Y0	加工其他四处圆弧直边
G00 Z5.0;	G00 Z5.0	
X0 Y50.0;	X0 Y50.0	
G01 Z-7.0;	G01 Z-7.0	
.....		
G91 G28 Z0 M09;	G74 Z0 M09	Z 向返回参考点
M05;	M05	程序结束部分
M30;	M02	

注：请读者自行采用 CAD 软件进行基点坐标分析。

五、样例小结

在数控生产实习中，刀具成本在耗材成本中占有非常高的比例。因此，在数控生产实习中，应尽量避免非正常因素（如刀具折断、刀具崩刃）造成的刀具磨损，同时应通过选用正确合理的切削用量和合理的加工工艺路线来提高刀具的使用寿命，从而降低数控生产实习的成本。

在数控加工过程中，选取合理的切削用量并不是指选取较小的切削用量，相反，有时取较小的切削用量反而会增大刀具的磨损。比如，使用高速钢刀具切削毛坯表面时，由于毛坯表面硬度较大，如果选用较小的背吃刀量，反而使刀具底部切削刃造成非正常性损坏。另外，选用过小的切削速度也会增大刀具的磨损。

二、加工准备与加工要求

1. 加工准备

本样例选择 TK7650 型 FANUC 0i 系统或 SIEMENS 802D 数控铣床或加工中心进行加工，编程方式采用手工编程，换刀方式采用手动换刀。

加工中使用的刀具、量具和工具参照表 1-1 进行配置，零件毛坯参照图 1-2 进行配置。

2. 加工要求

本样例的工时定额（包括编程与手动输入程序）为 4h，其加工要求见表 13-1。

表 13-1 职业技能鉴定样例 13 评分表

工件编号		总得分			检测记录	得分
项目与配分	序号	技术要求	配分	评分标准		
工件加工评分 (100)	正面 外形 轮廓 (52)	1 78 ⁰ _{-0.03} mm	4×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		2 $\phi 30^{+0.03}_0$ mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		3 $\phi 64^{+0.03}_0$ mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		4 15 ^{+0.03} ₀ mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		5 48 ⁰ _{-0.03} mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		6 $\phi 16^{+0.03}_0$ mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		7 8 ^{+0.05} ₀ mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		8 平行度 0.05mm	4×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		9 (20±0.10) mm	4	超差 0.02mm 扣 1 分		
		10 Ra3.2μm	3	超差一处扣 1 分		
		11 R30mm、R5mm 等	2	超差一处扣 1 分		
		12 工件轮廓形状完整	3	不完整一处扣 2 分		
	反面 外形 轮廓 (22)	13 58 ^{+0.06} _{+0.03} mm	3×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		14 48 ^{+0.06} _{+0.03} mm	3×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		15 6 ^{+0.05} ₀ mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		16 R6mm、R15mm 等	2	超差一处扣 1 分		
		17 Ra3.2μm	2	超差一处扣 1 分		
		18 工件轮廓形状完整	2	不完整一处扣 2 分		
	孔 (20)	19 $\phi 12H8$	2×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		20 (48±0.03) mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		21 Ra3.2μm	2×2	超差一处扣 2 分		
		22 M24×2	6	超差 0.01mm 扣 1 分		
		23 工件轮廓形状完整	2	不完整一处扣 2 分		
	其他 (6)	24 工件按时完成	2	未按时完成全扣		
		25 工件无过切等缺陷	2	缺陷一处扣 2 分		
		26 工件去毛倒棱 C0.3mm	2	酌情扣 0~2 分		

(续)

工件编号			总得分			
项目与配分	序号	技术要求	配分	评分标准	检测记录	得分
程序与工艺 (倒扣分)	27	程序正确合理	倒扣	不合理一处扣1分		
	28	加工工艺正确	倒扣	每错一处扣2分		
机床操作 (倒扣分)	29	机床操作规范	倒扣	出错一次扣2分		
	30	工件、刀具装夹规范	倒扣	出错一次扣2分		
安全文明生产 (倒扣分)	31	安全操作	倒扣	因安全事故停止操作可酌情扣5~30分		
	32	整理机床	倒扣			

三、相关知识

1. 可转位铣刀

在数控车床的加工过程中，为了减少转刀时间和方便对刀，便于实现加工自动化，应尽量选用机夹可转位刀片。目前，70%~80%的自动化加工刀具已使用了可转位刀片，在数控铣床或加工中心加工过程中，机夹可转位铣刀已做成了如图13-2所示等多种型号。另外，由于机夹可转位刀片的标号已使用了国家标准或ISO标准代码，因此，在加工过程中一旦出现刀片或刀具损坏，更换方便，更换成本也较低。

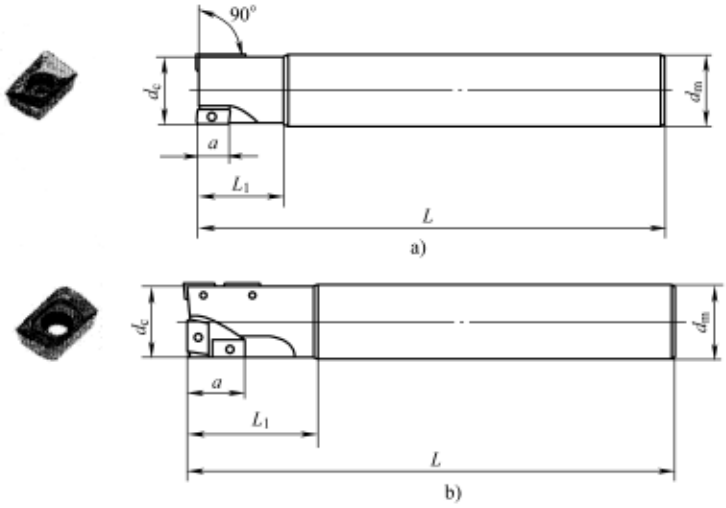


图 13-2 各种型号的可转位铣刀
a) 可转位立铣刀 b) 可转位螺旋立铣刀

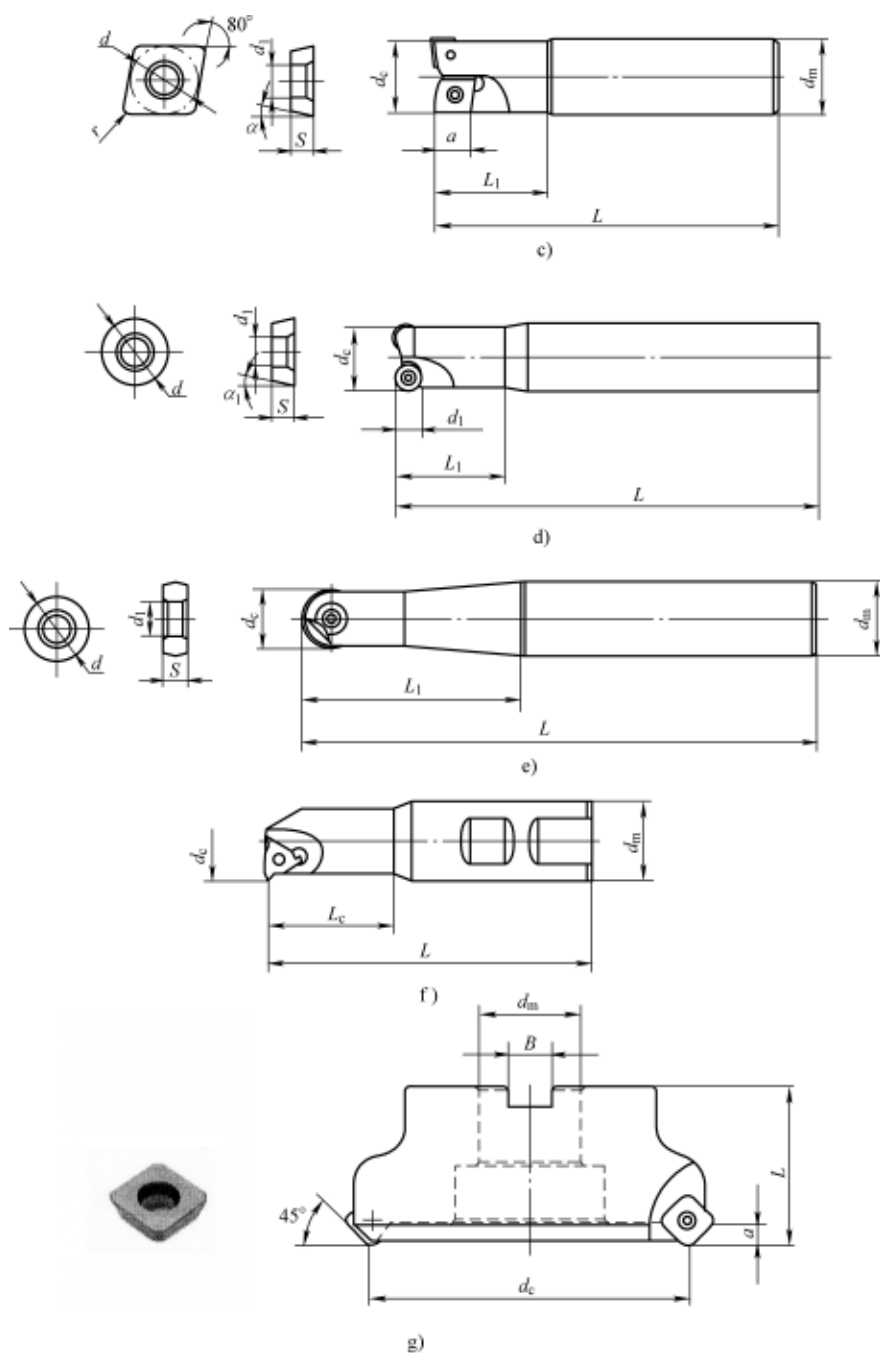


图 13-2 各种型号的可转位铣刀 (续)

c) 可转位键铣刀 d) 可转位 R 型立铣刀 e) 可转位球头铣刀 f) 可转位螺纹铣刀 g) 可转位面铣刀

2. 可转位铣刀的型号

对于图 13-2 中的各种可转位铣刀，每种刀具均有确定的型号，其型号编制如下，每一位置的含义见表 13-2。

EM 75 — 16 S D 08 (AL) (M) (L200) (Z2)
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

表 13-2 可转位铣刀型号编制说明

位号	表示内容	备注
1	EM 表示可转位立铣刀（带柄类），FM 表示可转位面铣刀（带孔类）	具体含义应查有关标准
2	数字表示主偏角，如用字母则表示刀具的类型，如圆弧铣刀（R）等	
3	铣刀切削直径	
4	刀片的形状，S 表示正方形	
5	刀片后角，P 表示 11°；D 表示 15°；E 表示 20°	
6	刀刃长度	
7	铝合金加工专用	
8	附加压板压紧	
9	加长型，数字为总长	
10	齿数	

例如 EM90 - 16AP10L150，表示立铣刀，刀具的主偏角为 90°，刀具的切削直径为 16mm，刀片形状为 85°菱形刀片，刀片后角为 11°，切削刃长度为 10mm，加长型刀具总长为 150mm。

3. 机夹可转位刀片

（1）刀片形状 机夹可转位刀片的具体形状也已标准化，且每一种形状均由一个相应的代码表示，图 13-3 列出的是一些常用的可转位刀片形状。

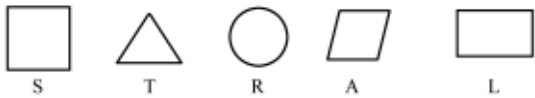


图 13-3 常用机夹可转位刀片形状

（2）机夹可转位刀片的代码 硬质合金可转位刀片的国家标准与 ISO 国际标准相同，共用十个号位的内容来表示品种规格、尺寸系列、制造公差以及测量方法等主要参数的特征。按照规定，任何一个型号刀片都必须用前七个号位，后三个号位在必要时才使用。其中第十号位前要加一短横线“—”与前面号位隔开，第八、九两个号位如只使用其中一位，则写在第八号位上，中间不需要空格。

可转位刀片型号表示方法如下，十个号位表示的内容见表 13-3。刀片型号的

具体含义请查阅相关数控刀具手册。

S D H T 12 04 AE F N — (Z2)
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

表 13-3 可转位刀片十个号位表示的内容

号位	表示内容	代表符号	备注
1	刀片形状	一个英文字母	具体含义应查有 关标准
2	刀片主切削刃法向后角	一个英文字母	
3	刀片尺寸精度	一个英文字母	
4	刀片固定方式及有无断屑槽形	一个英文字母	
5	刀片主切削刃长度	两位数	
6	刀片厚度，主切削刃到刀片定位底面的距离	两位数	
7	刀尖圆弧半径或刀尖转角形状	两位数或英文字母	
8	切削刃形状	一个英文字母	
9	刀片切削方向	一个英文字母	
10	制造商选择代号（断屑槽形及槽宽）	英文字母与数字	

例如 TBHG120408EL-29，T 表示三角形刀片；B 表示刀具法向后角为 5°；H 表示刀片厚度公差为 ±0.013mm；G 表示圆柱孔夹紧；12 表示切削刃长 12mm；04 表示刀片厚度为 4.76mm；08 表示刀尖圆弧半径为 0.8mm；E 表示切削刃倒圆；L 表示切削方向向左；29 为制造商代号。

四、零件加工

1. 加工思路分析

加工本样例时反面内凹型腔采用基本编程指令进行编程。而加工正面轮廓时，则采用坐标旋转的编程方式进行编程，对于另一个对称的轮廓，既可采用坐标镜像的方式进行编程，也可采用坐标旋转的方式进行编程，但由于采用坐标镜像方式编程时，顺逆铣方式发生了改变，难以保证加工精度，因此，本样例采用坐标旋转的方式进行编程。编程过程中使用的基点坐标如图 13-4 所示。

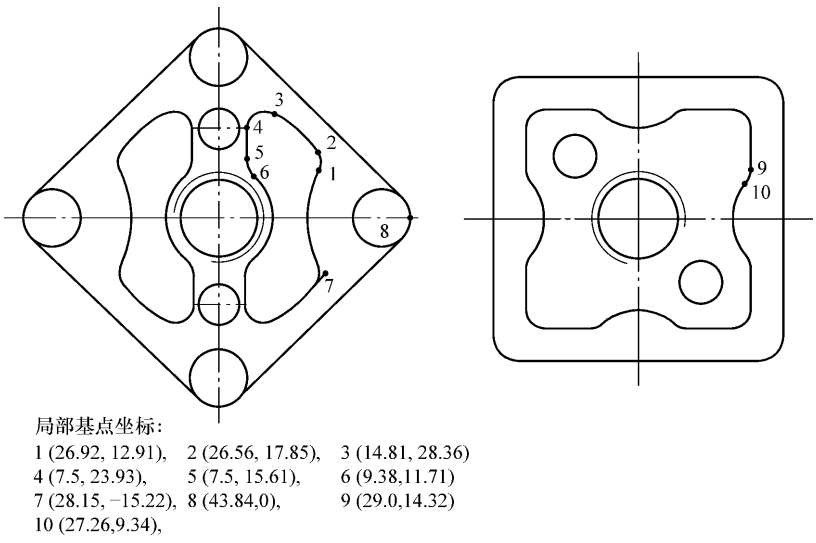


图 13-4 局部基点坐标

2. 编制本样例的加工工艺卡（见表 13-4）

表 13-4 样例 13 加工工艺卡

工步号	工步内容（加工面）	刀具号	刀具规格	主轴转速/（r/min）	进给速度/（mm/min）	背吃刀量/mm
1	平面铣削	T01	φ80mm 盘铣刀	600	400	1
2	中心钻定位（定位 3 个孔）	T02	B2.5 中心钻	3000	50	0.5D
3	钻孔（钻 3 个孔）	T03	φ8mm 钻头	600	100	0.5D
4	粗加工反面内轮廓	T04	φ10mm 立铣刀	800	100	6
5	精加工反面内轮廓	T05	φ10mm 立铣刀	3200	500	6
6	扩孔（扩 2 个孔）	T06	φ11.8mm 钻头	600	60	1.9
7	铰孔	T07	φ12H8 铰刀	200	80	0.1
8	立铣刀扩孔至 φ22mm	T10	φ16mm 立铣刀	500	100	8
9	铣螺纹	T08	螺纹铣刀	1500	80	1
10	粗加工正面外轮廓	T09	φ10mm 立铣刀	800	80	8
11	精加工正面外轮廓	T05	φ10mm 立铣刀	3200	500	8
12	工件去毛倒棱					
编制		审核		批准		共__页 第__页

注：1. 粗加工轮廓刀具材质为高速钢，精加工刀具材质为硬质合金。

2. D 指刀具（钻头）直径。

3. 参考程序

本例工件的参考程序见表 13-5。

表 13-5 职业技能鉴定样例 13 参考程序

FANUC 0i 系统程序	SIEMENS 802D 系统程序	程序说明
O0131;	AA131. MPF	正面轮廓精加工程序
G90 G94 G21 G40 G54 F500;	G90 G94 G71 G40 G54 F500	程序初始化
G91 G28 Z0;	G74 Z0	Z 向返回参考点
M03 S3200;	T1D1 M03 S3200	主轴正转, 转速为 3200r/min
G90 G00 X50.0 Y0 M08;	G00 X50.0 Y0 M08	刀具定位
Z20.0;	Z20.0	
G01 Z-8.0;	G01 Z-8.0	
G68 X0 Y0 R45.0;	ROT RPL=45.0	加工右侧轮廓
M98 P0135;	BB131	
G69;	ROT	
G00 Z3.0;	G00 Z3.0	刀具重新定位
X-50.0 Y0;	X-50.0 Y0	
G01 Z-8.0;	G01 Z-8.0	
G68 X0 Y0 R135.0;	ROT RPL=135.0	加工左侧轮廓
M98 P0135;	BB131	
G69;	ROT	
G91 G28 Z0 M09;	G74 Z0 M09	程序结束部分
M05;	M05	
M30;	M02	
O0135;	BB131. SPF	正面凸台子程序
G41 G01 X28.15 Y-15.22 D01;	G41 G01 X28.15 Y-15.22	加工正面右侧凸台
G02 X14.81 Y-28.36 R32.0;	G02 X14.81 Y-28.36 CR=32.0	
G02 X7.5 Y-23.93 R5.0;	G02 X7.5 Y-23.93 CR=5.0	
G01 Y-15.61;	G01 Y-15.61	
G02 X9.38 Y-11.71 R5.0;	G02 X9.38 Y-11.71 CR=5.0	
G03 Y11.71 R15.0;	G03 Y11.71 CR=15.0	
G02 X7.5 Y15.61 R5.0;	G02 X7.5 Y15.61 CR=5.0	
G01 Y23.93;	G01 Y23.93	
G02 X14.81 Y28.36 R5.0;	G02 X14.81 Y28.36 CR=5.0	
G02 X26.58 Y17.85 R32.0;	G02 X26.58 Y17.85 CR=32.0	
G02 X26.92 Y12.91 R5.0;	G02 X26.92 Y12.91 CR=5.0	
G03 Y-12.91 R30.0;	G03 Y-12.91 CR=30.0	
G02 X26.58 Y-17.85 R5.0;	G02 X26.58 Y-17.85 CR=5.0	
G40 G01 X40.0;	G40 G01 X40.0	



(续)

FANUC 0i 系统程序	SIEMENS 802D 系统程序	程序说明
G41 X45.0 Y-8.0;	G41 X45.0 Y-8.0	加工右侧圆柱
X43.84;	X43.84	
G02 J8.0;	G02 J8.0	
G40 G01 Y-40.0;	G40 G01 Y-40.0	
G41 X8.0 Y-40.0;	G41 X8.0 Y-40.0	加工下方圆柱
Y-43.84;	Y-43.84	
G02 I-8.0;	G02 I-8.0	
G40 G01 X30.0;	G40 G01 X30.0	
M99;	RET	返回子程序

注：请读者自行编写反面轮廓及孔的加工程序。

五、样例小结

当前，随着刀具技术的飞速发展，数控加工的刀具区分也越来越细致，越来越专业。例如同样的硬质合金刀具，根据加工工件材料的不同，选用的硬质合金刀具的材质也各不相同（加工不锈钢、中碳钢、铝等不同材质工件时，选用的硬质合金刀具各不相同），选用的切削用量也不相同，甚至选用的切削液也各不相同。

在购买和使用可转位铣刀时，应特别注意刀具的牌号，通过这些牌号能正确快速地选择到所需要的刀具。因此，作为操作者应充分了解刀具牌号的含义。可转位刀具的刀片通常由高硬度的刀具材料（如硬质合金、涂层硬质合金等）制作而成，这类刀具通常不适合重负荷、冲击大的粗加工。

考核目标

- ◆ 复杂零件的编程与加工；
- ◆ 复杂零件的加工工艺分析；
- ◆ 数控机床攻螺纹加工指令；
- ◆ 攻螺纹的技术问题。

一、考核要求

加工图 14-1 所示零件（坯件尺寸为 $90\text{mm} \times 90\text{mm} \times 21\text{mm}$ ），试分析其加工工艺并编写其数控铣加工程序。

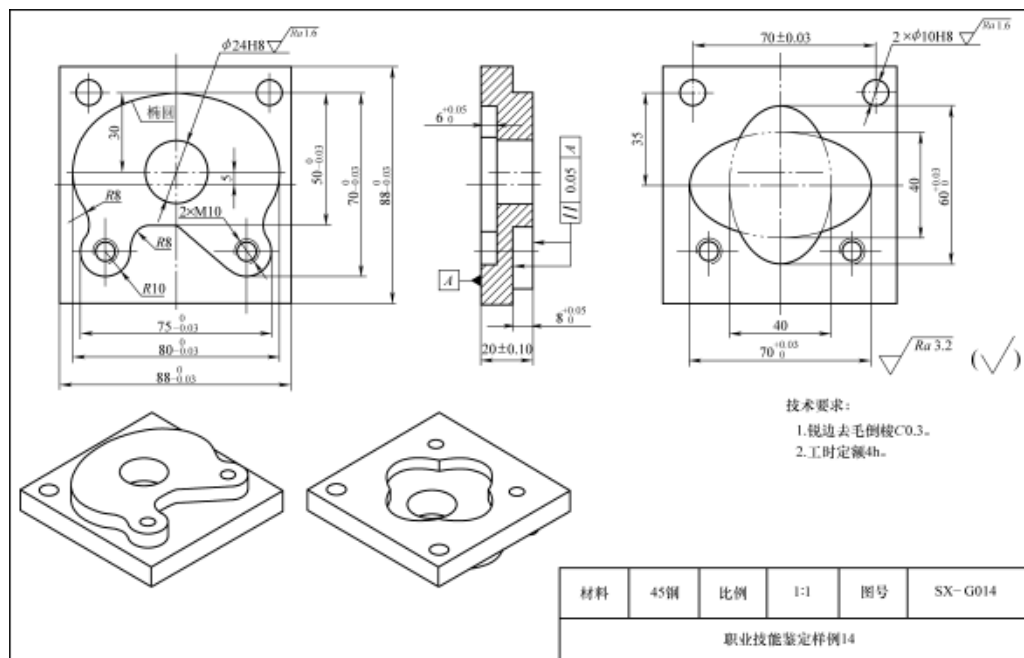


图 14-1 职业技能鉴定样例 14



二、加工准备与加工要求

1. 加工准备

本样例选择 TK7650 型 FANUC 0i 系统或 SIEMENS 802D 数控铣床或加工中心进行加工, 编程方式采用手工编程, 换刀方式采用手动换刀。

加工中使用的刀具、量具和工具参照表 1-1 进行配置, 本样例选用的毛坯为 $90\text{mm} \times 90\text{mm} \times 21\text{mm}$ 的 45 钢或硬铝(请读者根据自身考工条件进行选择, 选择不同的材料时, 请注意选择不同的切削用量参数), 毛坯材料的技术要求如图 14-2 所示。

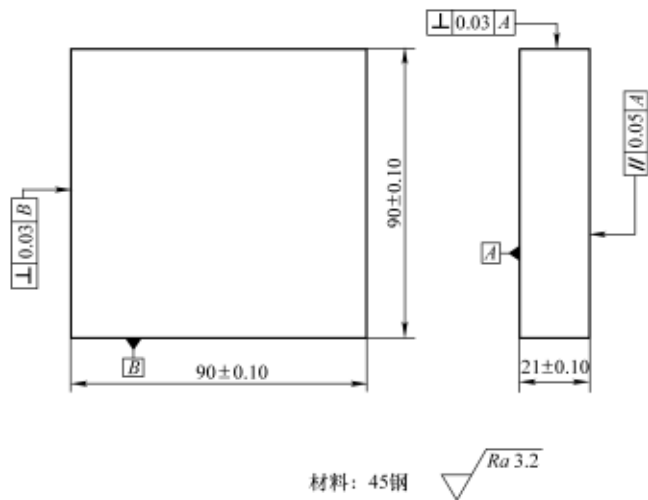


图 14-2 毛坯图

2. 加工要求

本样例的工时定额(包括编程与手动输入程序)为 4h, 其加工要求见表 14-1。

表 14-1 职业技能鉴定样例 14 评分表

工件编号		总得分					
项目与配分		序号	技术要求	配分	评分标准	检测记录	得分
工件加工评分 (100)	正面外形轮廓 (47)	1	88 _{-0.03} ⁰ mm	4×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		2	80 _{-0.03} ⁰ mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		3	75 _{-0.03} ⁰ mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		4	50 _{-0.03} ⁰ mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		5	70 _{-0.03} ⁰ mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		6	椭圆轮廓正确	3	超差全扣		
		7	8 ₀ ^{+0.05} mm	3	超差 0.01mm 扣 1 分		
		8	平行度 0.05mm	3×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		9	(20±0.10) mm	3	超差 0.02mm 扣 1 分		
		10	Ra3.2μm	3	超差一处扣 1 分		
		11	R8mm、R10mm 等	2	超差一处扣 1 分		
		12	工件轮廓形状完整	3	不完整一处扣 2 分		
	反面外形轮廓 (21)	13	70 ₀ ^{+0.03} mm	4×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		14	6 ₀ ^{+0.05} mm	3	超差 0.01mm 扣 1 分		
		15	椭圆轮廓正确	3×2	超差全扣		
		16	Ra3.2μm	2	超差一处扣 1 分		
		17	工件轮廓形状完整	2	不完整一处扣 2 分		
	孔 (26)	18	φ10H8	2×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		19	(70±0.03) mm	3	超差 0.01mm 扣 1 分		
		20	φ24H8 (镗孔)	5	超差 0.01mm 扣 1 分		
		21	Ra1.6μm	2×3	超差一处扣 2 分		
		22	M10	3×2	超差一处扣 3 分		
		23	工件轮廓形状完整	2	不完整一处扣 2 分		
	其他 (6)	24	工件按时完成	2	未按时完成全扣		
		25	工件无过切等缺陷	2	缺陷一处扣 2 分		
		26	工件去毛倒棱 C0.3mm	2	酌情扣 0~2 分		
程序与工艺 (倒扣分)		27	程序正确合理	倒扣	每错一处扣 1 分		
		28	加工工艺正确	倒扣	不合理每处扣 2 分		
机床操作 (倒扣分)		29	机床操作规范	倒扣	出错一次扣 2 分		
		30	工件、刀具装夹规范	倒扣	出错一次扣 2 分		
安全文明生产 (倒扣分)		31	安全操作	倒扣	因安全事故停止操作可酌情扣 5~30 分		
		32	整理机床	倒扣			

三、相关知识

1. 攻螺纹的相关技术问题

(1) 攻螺纹底孔直径的确定 攻螺纹时, 螺纹的底孔直径应稍大于螺纹小径, 以防攻螺纹时因挤压作用损坏丝锥。底孔直径通常根据经验公式决定, 即

$$D_{\text{底}} = D - P \quad (\text{加工钢件等塑性金属})$$

$$D_{\text{底}} = D - 1.05P \quad (\text{加工铸铁等脆性金属})$$

式中 $D_{\text{底}}$ ——攻螺纹钻螺纹底孔用钻头直径 (mm);

D ——螺纹大径 (mm);

P ——螺距 (mm)。

对于细牙螺纹, 其螺距已在螺纹代号中做了标记。而对于粗牙螺纹, 每一种尺寸规格螺纹的螺距都是固定的, 如 M8 的螺距为 1.25mm, M10 的螺距为 1.5mm, M12 的螺距为 1.75mm 等, 具体请查阅有关螺纹尺寸参数表。

(2) 螺纹轴向起点和终点尺寸的确定 在数控机床上攻螺纹时, 沿螺距方向应选择合理的导入距离 δ_1 和导出距离 δ_2 。通常情况下, 根据数控机床拖动系统的动态特性及螺纹螺距和螺纹精度来选择 δ_1 和 δ_2 的数值。 δ_1 一般取 $(2 \sim 3)P$, 对大螺距和高精度的螺纹, 取较大值; δ_2 一般取 $(1 \sim 2)P$ 。此外, 在加工通孔螺纹时, 导出量还要考虑丝锥前端切削锥角的长度。

(3) 螺纹的测量 螺纹的主要测量参数有螺距、大径、小径和中径尺寸。

外螺纹大径和内螺纹小径的公差一般较大, 可用游标卡尺或千分尺测量。

螺距一般可用钢直尺或螺距规测量。由于普通螺纹的螺距一般较小, 所以采用钢直尺测量时, 最好测量 10 个螺距的长度, 然后除以 10, 就得出一个较正确的螺距尺寸。

对精度较高的普通螺纹, 可用螺纹千分尺 (见图 14-3) 直接测量, 所测得的千分尺的读数就是该螺纹中径的实际尺寸; 也可用“三针”进行间接测量 (三针测量法仅适用于外螺纹的测量), 但需通过计算后, 才能得到其中径尺寸。

综合测量是指用螺纹塞规或螺纹环规 (见图 14-4) 的通、止规综合检查内、外普通螺纹是否合格。使用螺纹量规时, 应按其对应的公差等级进行选择。



图 14-3 外螺纹千分尺



图 14-4 螺纹塞规与螺纹环规

(4) 攻螺纹误差分析 (见表 14-2)

表 14-2 攻螺纹误差分析

出现问题	产生原因
螺纹乱牙或滑牙	丝锥夹紧不牢固,造成乱牙
	攻盲孔螺纹时,固定循环中的孔底平面选择过深
	切屑堵塞,没有及时清理
	固定循环程序选择不合理
丝锥折断	底孔直径太小
	底孔中心与攻螺纹主轴中心不重合
	攻螺纹夹头选择不合理,没有选择浮动夹头
尺寸不正确或螺纹不完整	丝锥磨损
	底孔直径太大,造成螺纹不完整
表面粗糙度质量差	转速太快,导致进给速度太快
	切削液选择不当或使用不合理
	切屑堵塞,没有及时清理
	丝锥磨损

2. 攻螺纹加工指令

FANUC 系统攻右旋螺纹加工指令: G84 X__ Y__ Z__ R__ P__ F__;

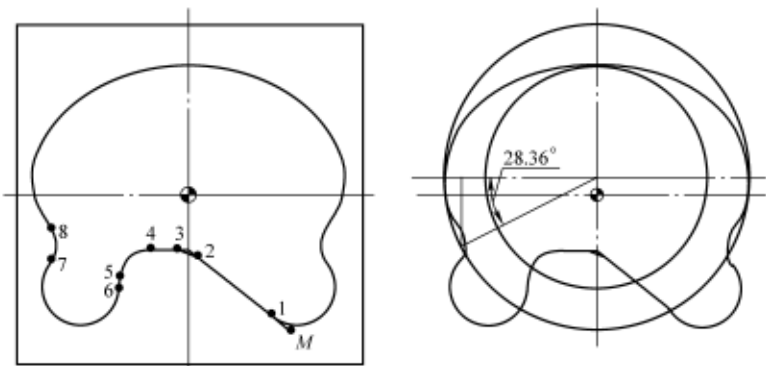
FANUC 系统攻左旋螺纹加工指令: G74 X__ Y__ Z__ R__ P__ F__;

SIEMENS 攻螺纹加工指令: CYCLE84 (RTP, RFP, SDIS, DP, DPR, DTB, SDAC, MPIT, PIT, POSS, SST, SST1);

四、零件加工

1. 加工思路分析

加工本样例反面内凹型腔时,采用椭圆极坐标方式进行编程。加工正面轮廓的椭圆时,如果采用公式“ $X^2/a^2 + Y^2/b^2 = 1$ ”进行宏程序或参数编程,则需编写三个程序段,而如果采用椭圆极坐标方式进行编程,则只需编写一个程序段,但应正确计算椭圆起点处的极角。本样例采用极坐标方式编写椭圆轮廓的加工程序,编程过程中使用的基点坐标如图 14-5 所示。



局部基点坐标:

1 (21.08, -32.66), 2 (3.23, -16.87), 3 (-2.91, -15.0)
4 (-9.50, -15.0), 5 (-17.50, -23.0), 6 (-17.50, -25.0)
7 (-35.38, -18.85), 8 (-35.20, -9.25), M (26.0, -36.79)

图 14-5 局部基点坐标

2. 参考程序

本例工件的参考程序见表 14-3。

表 14-3 职业技能鉴定样例 14 参考程序

FANUC 0i 系统程序	SIEMENS 802D 系统程序	程序说明
O0141;	AA141. MPF	外轮廓加工程序
G90 G94 G21 G40 G54 F150;	G90 G94 G71 G40 G54 F150	程序初始化
G91 G28 Z0;	G74 Z0	Z 向返回参考点
M03 S800;	T1D1 M03 S800	主轴正转, 转速为 800r/min
G90 G00 X0 Y -55.0 M08;	G00 X0 Y -55.0 M08	定位至起刀点
Z30.0;	Z30.0	
G01 Z -6.0;	G01 Z -6.0	
G41 G01 X26.0 Y -36.79 D01;	G41 G01 X26.0 Y -36.79	延长线上建立刀具补偿
X3.23 Y -16.87;	X3.23 Y -16.87	加工外形轮廓
G03 X -2.91 Y -15.0 R8.0;	G03 X -2.91 Y -15.0 CR =8.0	
G01 X -9.5;	G01 X -9.5	
G03 X -17.5 Y -23.0 R8.0;	G03 X -17.5 Y -23.0 CR =8.0	
G01 Y -25.0;	G01 Y -25.0	
G02 X -35.38 Y -18.85 R -10.0;	G02 X -35.38 Y -18.85 CR = -10.0	
G03 X -35.20 Y -9.25 R8.0;	G03 X -35.20 Y -9.25 CR =8.0	

(续)

FANUC 0i 系统程序	SIEMENS 802D 系统程序	程序说明
#100 = 207.36;	R10 = 207.36	椭圆起始点极角
N100 #1 = 40.0 * COS [#100];	MA1; R1 = 40.0 * COS (R10)	椭圆上各点 X 坐标
#2 = 30.0 * SIN [#100] + 5.0;	R2 = 30.0 * SIN (R10) + 5.0	椭圆上各点 Y 坐标
G01 X#1 Y#2;	G01 X = R1 Y = R2	加工椭圆轮廓
#100 = #100 - 1.0;	R10 = R10 - 1.0	每次增量为 1°
IF [# 100 GE - 28.36] GOTO 100;	IF R10 > = - 28.36 GOTOB MA1	条件判断
G03 X - 35.38 Y - 18.85 R8.0;	G03 X - 35.38 Y - 18.85 CR = 8.0	加工下方圆弧
G02 X21.08 Y - 32.66 R10.0;	G02 X21.08 Y - 32.66 CR = 10.0	
G40 G01 X0 Y - 55.0;	G40 G01 X0 Y - 55.0	取消刀具半径补偿
G91 G28 Z0 M09;	G74 Z0 M09	Z 向返回参考点
M05;	M05	程序结束部分
M30;	M02	
O0140;	AA142.MPF	攻螺纹程序
G90 G94 G21 G40 G54 F80;	G90 G94 G71 G40 G54 F80	程序开始部分
G91 G28 Z0;	G74 Z0	
M03 S200;	T1D1 M03 S200	
G90 G00 X0 Y0 M08;	G00 X0 Y0 M08	刀具定位
G84 X - 27.5 Y - 25.0 Z - 23.0 R5.0 F1.5;	CYCLE84 (10.0, 0, 2.0, - 23.0, , 0, 4, 0, , 1.5)	模态调用孔加工程序加工螺纹
X27.5;	G00 X - 27.5 Y - 25.0	
	X27.5	
G91 G28 Z0;	G74 Z0	程序结束部分
M30;	M02	

考核目标

- ◆ 复杂零件的编程与加工；
- ◆ 复杂零件的加工工艺分析；
- ◆ SIEMENS 系统的螺纹铣削固定循环；
- ◆ SIEMENS 系统的型腔铣削固定循环。

一、考核要求

加工图 15-1 所示零件（坯件尺寸为 90mm × 90mm × 21mm），试分析其加工工艺并编写其数控铣加工程序。

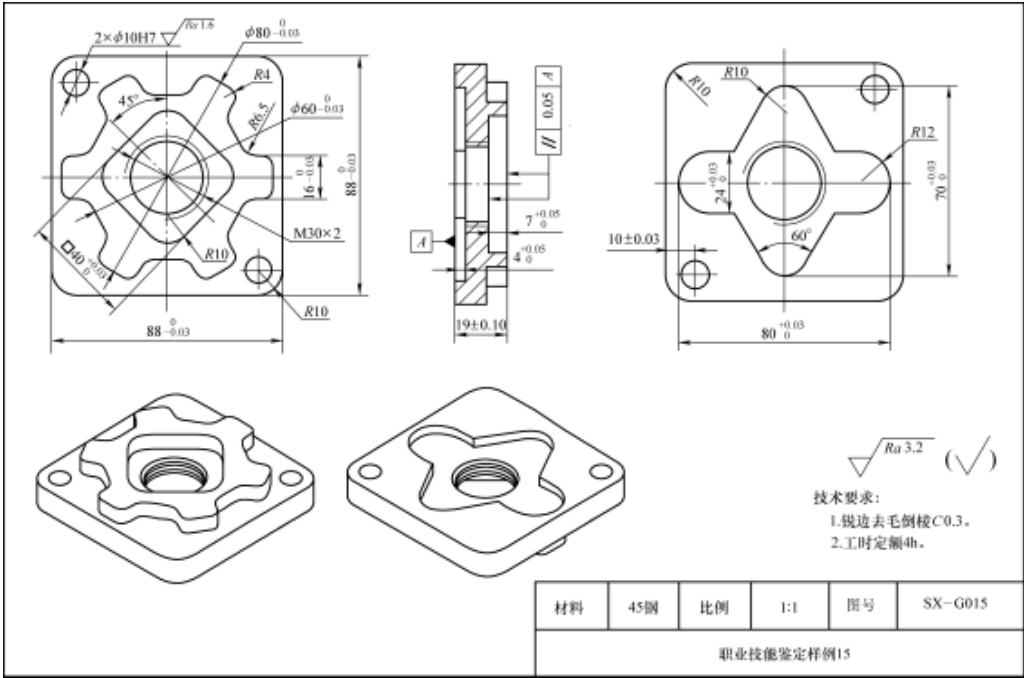


图 15-1 职业技能鉴定样例 15

二、加工准备与加工要求

1. 加工准备

本样例选择 TK7650 型 FANUC 0i 系统或 SIEMENS 802D 数控铣床或加工中心进行加工，编程方式采用手工编程，换刀方式采用手动换刀。

加工中使用的刀具、量具和工具参照表 1-1 进行配置，零件毛坯参照图 14-2 进行配置。

2. 加工要求

本样例的工时定额（包括编程与手动输入程序）为 4h，其加工要求见表 15-1。

表 15-1 职业技能鉴定样例 15 评分表

工件编号		总得分				
项目与配分	序号	技术要求	配分	评分标准	检测记录	得分
工件加工评分 (100)	正面外形轮廓 (52)	1 88 ⁰ _{-0.03} mm	4×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		2 φ80 ⁰ _{-0.03} mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		3 φ60 ⁰ _{-0.03} mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		4 16 ⁰ _{-0.03} mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		5 40 ^{+0.03} ₀ mm	4×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		6 45°	3	超差全扣		
		7 7 ^{+0.05} ₀ mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		8 平行度 0.05mm	3×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		9 (19±0.10) mm	3	超差 0.02mm 扣 1 分		
		10 Ra3.2μm	3	超差一处扣 1 分		
		11 R4mm、R10mm、R6.5mm 等	2	超差一处扣 1 分		
		12 工件轮廓形状完整	3	不完整一处扣 2 分		
	反面外形轮廓 (22)	13 70 ^{+0.03} ₀ mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		14 24 ^{+0.03} ₀ mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		15 80 ^{+0.03} ₀ mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		16 4 ^{+0.05} ₀ mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		17 R10mm、R12mm、60°等	2	每错一处扣 1 分		
		18 Ra3.2μm	2	超差一处扣 1 分		
		19 工件轮廓形状完整	2	不完整一处扣 2 分		
	孔 (20)	20 φ10H7	2×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		21 (10±0.03) mm	1×4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		22 Ra1.6μm	2×2	超差一处扣 2 分		
		23 M30×2	6	超差全扣		
		24 工件轮廓形状完整	2	不完整一处扣 2 分		



(续)

工件编号					总得分			
项目与配分		序号	技术要求	配分	评分标准	检测记录	得分	
工件加工评分 (100)	其他 (6)	25	工件按时完成	2	未按时完成全扣			
		26	工件无过切等缺陷	2	缺陷一处扣 2 分			
		27	工件去毛倒棱 C0.3mm	2	酌情扣 0 ~ 2 分			
程序与工艺 (倒扣分)		28	程序正确合理	倒扣	每错一处扣 1 分			
		29	加工工艺正确	倒扣	不合理每处扣 2 分			
机床操作 (倒扣分)		30	机床操作规范	倒扣	出错一次扣 2 分			
		31	工件、刀具装夹规范	倒扣	出错一次扣 2 分			
安全文明生产 (倒扣分)		32	安全操作	倒扣	因安全事故停止操作可酌情扣 5 ~ 30 分			
		33	整理机床	倒扣				

三、相关知识

1. 螺纹铣削固定循环 (CYCLE90)

(1) 指令格式

CYCLE90 (RTP, RFP, SDIS, DP, DPR, DIATH, KDIAM, PIT, FFR, CDIR, TYPth, CPA, CPO);

该指令中部分参数的含义如图 15-2 所示,说明如下:

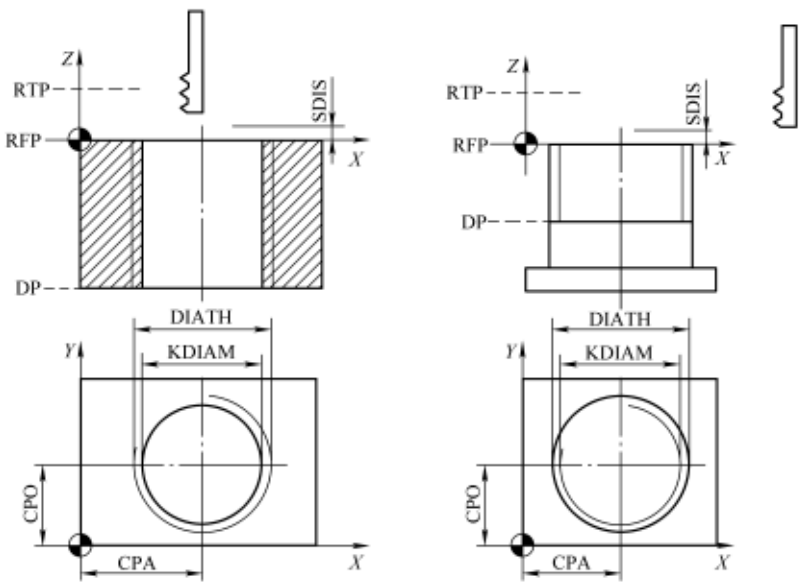


图 15-2 CYCLE90 参数

DIATH: 外螺纹公称直径;

KDIAM: 螺纹内径;

PIT: 螺纹导程;

FFR: 螺旋线切削进给率;

CDIR: 定义铣削方向, 用数字 2 或 3 表示, 2 表示采用顺时针方向 G02 方式铣削, 3 表示采用逆时针方向 G03 方式铣削;

TYPTH: 定义螺纹类型, 0 表示内螺纹, 1 表示外螺纹;

CPA、CPO: 螺纹中心的横、纵坐标值 (绝对值方式)。

(2) 加工过程说明 现以加工内螺纹时的机床动作为例来说明 CYCLE90 循环的基本动作:

1) 刀具在 XY 平面以 G00 方式到达螺纹孔中心点, 使用 G00 方式进给至返回平面, 至接近安全间隙的参考平面 (具体位置系统自动计算)。

2) 刀具按 FFR 指定的进给率以 G01 方式进给到引入螺旋圆弧起点 (系统自动计算)。

3) 按照 CDIR 指定的方向, 沿引入螺旋圆弧路径移动到螺纹直径。

4) 使用 CDIR 指定的方向, 沿螺旋路径铣削螺纹, 螺纹钻铣刀绕螺纹轴线作 X、Y 方向插补运动, 同时作平行于轴线的 +Z 方向运动, 即每绕螺纹轴线运行 360°, 沿 +Z 方向上升一个螺距, 三轴联动运行轨迹为一条螺旋线。

5) 待螺纹铣削至深度后, 按照相同的旋转方向以及 FFR 指定的进给率以螺旋圆弧路径切出。

6) 使用 G00 方式在当前平面退回到螺纹中心点, 然后再退回至返回平面。

2. 矩形槽铣削固定循环 (POCKET1)

POCKET1 (RTP, RFP, SDIS, DP, DPR, LENG, WID, CRAD, CPA, CPO, STA1, FFD, FFP1, MID, CDIR, FAL, VARI, MIDF, FFP2, SSF);

例如 POCKET1 (10, 0, 5, -15, , 50, 30, 6, 50, 40, 30, 80, 150, 3, 2, 0.5, 0, 2.5, 50, 1000);

矩形槽铣削固定循环的部分参数如图 15-3 所示, 说明如下:

LENG、WID: 槽的长度与槽的宽度, 无符号值;

CRAD: 矩形四周圆角半径;

CPA、CPO: 圆弧中心的横、纵坐标值, 绝对值方式输入;

STA1: 矩形横向轴与工件坐标系横轴的夹角;

FFD、FFP1: 深度方向进给速率与端面方向的进给速率;

MID: 每次进给的深度;

CDIR: 加工槽的铣削方向, 2 表示 G02 方式, 3 表示 G03 方式;

FAL: 槽侧的精加工余量;

VARI: 加工类型, 0 表示完整加工, 1 表示粗加工, 2 表示精加工。

MIDF: 精加工的最大切削深度;

FFP2: 精加工的进给速率;

SSF: 精加工的主轴转速。

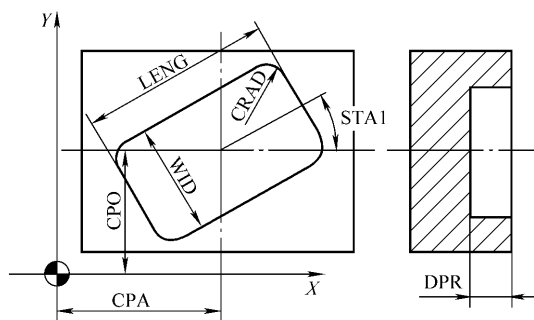


图 15-3 POCKET1 循环参数图

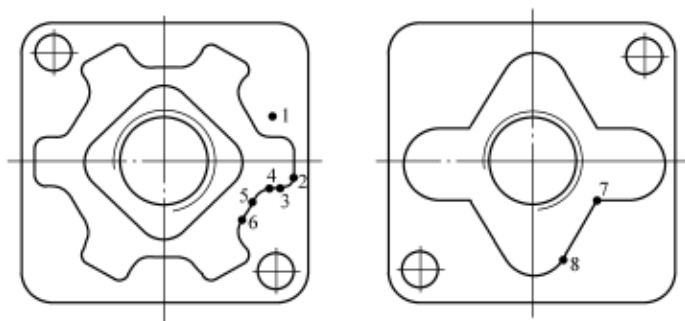
四、零件加工

1. 加工思路分析

加工 $M30 \times 2$ 的内螺纹时, SIEMENS 系统可用螺纹铣削指令“CYCLE90”进行编程, 而 FANUC 系统则需采用宏程序进行编程。

加工 $40\text{mm} \times 40\text{mm}$ 内型腔时, SIEMENS 系统可直接使用型腔铣削指令“POCKET1”进行编程, 而 FANUC 系统则需采用坐标旋转方式进行编程。

加工正面外轮廓时, 该轮廓为圆周均布轮廓, 故可采用坐标旋转结合宏程序(参数编程)方式进行编程。编程过程中使用的基点坐标如图 15-4 所示。



局部基点坐标:

1 (33.50, 14.50), 2 (39.75, -4.44), 3 (35.78, -8.0)
4 (33.50, -8.0), 5 (27.53, -11.92), 6 (24.09, -17.88)
7 (19.05, -12.0), 8 (8.66, -30.0)

图 15-4 局部基点坐标

2. 参考程序

本例工件的参考程序见表 15-2。

表 15-2 职业技能鉴定样例 15 参考程序

FANUC 0i 系统程序	SIEMENS 802D 系统程序	程序说明
O0151;	AA151. MPF	正面轮廓精加工程序
G90 G94 G21 G40 G54 F500;	G90 G94 G71 G40 G54 F500	程序初始化
G91 G28 Z0;	G74 Z0	Z 向返回参考点
M03 S3000;	T1D1 M03 S3000	主轴正转，转速为 3000r/min
G90 G00 X55.0 Y20.0 M08;	G00 X55.0 Y20.0 M08	刀具定位
Z20.0;	Z20.0	
G01 Z-7.0;	G01 Z-7.0	
#1=360.0;	R1=360.0	加工正面外轮廓
N100 G68 X0 Y0 R#1;	MA1: ROT RPL=R1	
G41 G01 X33.50 Y21.0 D01;	G41 G01 X33.50 Y21.0	
G03 X33.50 Y8.0 R6.5;	G03 X33.50 Y8.0 CR=6.5	
G01 X35.78;	G01 X35.78	
G02 X39.75 Y4.44 R4.0;	G02 X39.75 Y4.44 CR=4.0	
G02 Y-4.44 R40.0;	G02 Y-4.44 CR=40.0	
G02 X35.78 Y-8.0 R4.0;	G02 X35.78 Y-8.0 CR=4.0	
G01 X33.50;	G01 X33.50	
G03 X27.53 Y-11.92 R6.5;	G03 X27.53 Y-11.92 CR=6.5	
G02 X24.09 Y-17.88 R30.0;	G02 X24.09 Y-17.88 CR=30.0	
G40 X35.0;	G40 X35.0	
G69;	ROT	
#1=#1-60.0;	R1=R1-60.0	
IF [#1 GE 60.0] GOTO 100;	IF R10 >=60.0 GOTOB MA1	
G91 G28 Z0 M09;	G74 Z0 M09	程序结束部分
M05;	M05	
M30;	M02	
O0152;	BB152. MPF	正面内型腔加工程序
.....		程序开始部分
G90 G00 X0 Y0 M08;	G00 X0 Y0 M08	刀具定位
Z20.0;	Z20.0	



(续)

FANUC 0i 系统程序	SIEMENS 802D 系统程序	程序说明
G01 Z0;	POCKET1 (10, 0, 5, -7, , 40, 40, 10, 0, 0, 45, 80, 80, 5, 3, 0.5, 0, 7, 50, 1000)	LENG: 40
G68 X0 Y0 R45.0;		WID: 40
G41 G01 X20.0 Y0 D01;		CRAD: 10
G03 Z-7.0 I-20.0;		CPA: 0
G01 Y10.0;		CPO: 0
G03 X10.0 Y20.0 R10.0;		STA1: 45
G01 X-10.0;		FFD = FFP1 = 80
G03 X-20.0 Y10.0 R10.0;		MID: 5
G01 Y-10.0;		CDIR: 3
G03 X-10.0 Y-20.0 R10.0;		FAL: 0.5
G01 X10.0;		FFP2: 50
G03 X20.0 Y-10.0 R10.0;		SSF: 1000
G01 Y10.0;		其他参数说明略
G40 X0 Y0;		
G91 G28 Z0 M09;	G74 Z0 M09	程序结束部分
M05;	M05	
M30;	M02	
O0155;	AA155. MPF	内螺纹加工程序
.....		程序开始部分
G90 G00 X0 Y0 M08;	G00 X0 Y0 M08	刀具定位
Z20.0;	Z20.0	
G01 Z2.0;	CYCLE90 (10, 0, 2, -24.0, , 30, 28, 2, 50, 2, 0, 0, 0)	DIATH: 30
G42 G01 X15.0 Y0 D01;		KDIAM: 28
#1 = 0;		PIT: 2
N100 G02 I-15.0 Z = #1;		FFR: 50
#1 = #1 - 2.0;		CDIR: 2
IF [#1 GT -24.0] GOTO 100;		TYPTH: 0
G40 G01 X0 Y0;		其他参数说明略
G91 G28 Z0;	G91 G28 Z0	程序结束部分
M05 M09;	M05 M09	
M30;	M30	

注：请读者自行编写反面轮廓及孔的加工程序。

考核目标

- ◆ 复杂零件的编程与加工；
- ◆ 复杂零件的加工工艺分析；
- ◆ 合理选择外轮廓测量用量具；
- ◆ 合理选择内孔测量用量具。

一、考核要求

加工图 16-1 所示零件（坯件尺寸为 $90\text{mm} \times 90\text{mm} \times 21\text{mm}$ ），试分析其加工工艺并编写其数控铣加工程序。

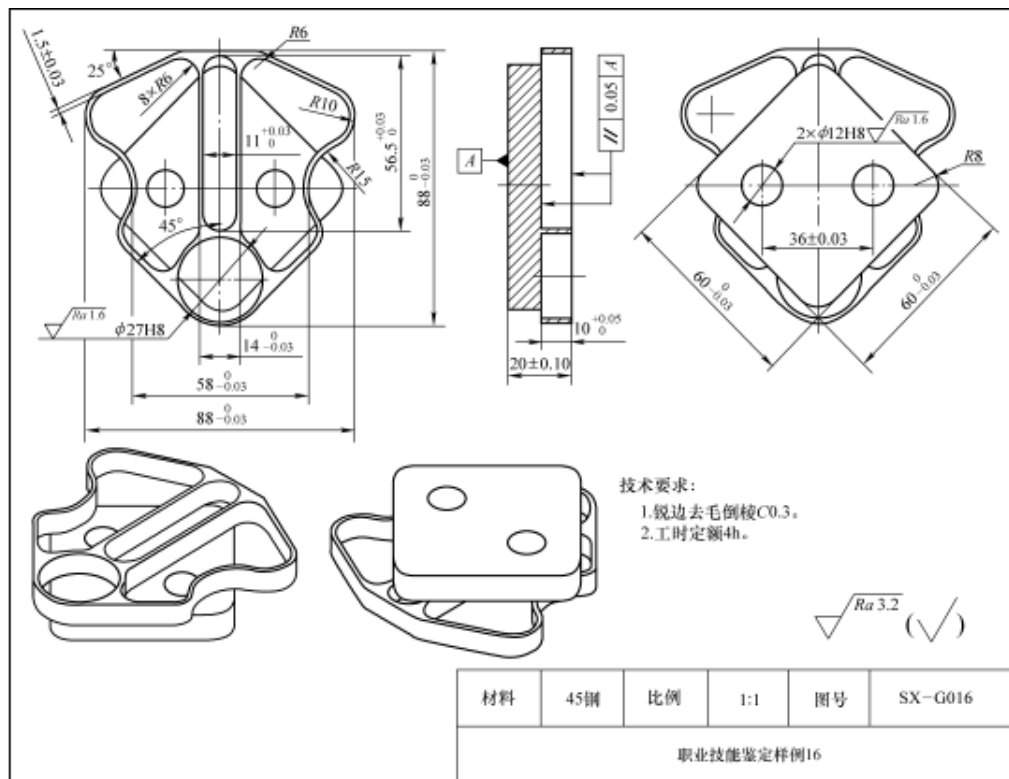


图 16-1 职业技能鉴定样例 16

二、加工准备与加工要求

1. 加工准备

本样例选择 TK7650 型 FANUC 0i 系统或 SIEMENS 802D 数控铣床或加工中心进行加工, 编程方式采用手工编程, 换刀方式采用手动换刀。

加工中使用的刀具、量具和工具参照表 1-1 进行配置, 零件毛坯参照图 14-2 进行配置。

2. 加工要求分析

本样例的工时定额(包括编程与手动输入程序)为 4h, 其加工要求见表16-1。

表 16-1 职业技能鉴定样例 16 评分表

工件编号				总得分			
项目与配分		序号	技术要求	配分	评分标准	检测记录	得分
工件加工评分 (100)	正面 外形 轮廓 (61)	1	$88 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.03 \end{smallmatrix} \text{mm}$	4×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		2	$58 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.03 \end{smallmatrix} \text{mm}$	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		3	$14 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.03 \end{smallmatrix} \text{mm}$	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		4	$56.5 \begin{smallmatrix} +0.03 \\ 0 \end{smallmatrix} \text{mm}$	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		5	$11 \begin{smallmatrix} +0.03 \\ 0 \end{smallmatrix} \text{mm}$	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		6	(1.5±0.03) mm	3×4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		7	$10 \begin{smallmatrix} +0.05 \\ 0 \end{smallmatrix} \text{mm}$	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		8	平行度 0.05mm	3×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		9	(20±0.10) mm	4	超差 0.02mm 扣 1 分		
		10	Ra3.2μm	4	超差一处扣 1 分		
		11	R10mm、R15mm、25°等	3	超差一处扣 1 分		
		12	工件轮廓形状完整	4	不完整一处扣 2 分		
	反面 外形 轮廓 (12)	13	$60 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.03 \end{smallmatrix} \text{mm}$	4×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		14	R8mm	1	每错一处扣 1 分		
		15	Ra3.2μm	2	超差一处扣 1 分		
		16	工件轮廓形状完整	1	不完整一处扣 2 分		
	孔 (21)	17	φ12H8	2×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		18	(36±0.03) mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		19	φ27H8(镗孔)	5	超差 0.01mm 扣 1 分		
		20	Ra1.6μm	2×3	超差一处扣 2 分		
		21	工件轮廓形状完整	2	不完整一处扣 2 分		
	其他 (6)	22	工件按时完成	2	未按时完成全扣		
		23	工件无过切等缺陷	2	缺陷一处扣 2 分		
		24	工件去毛倒棱 CO.3mm	2	酌情扣 0~2 分		

(续)

工件编号			总得分			
项目与配分	序号	技术要求	配分	评分标准	检测记录	得分
程序与工艺 (倒扣分)	25	程序正确合理	倒扣	每错一处扣 1 分		
	26	加工工艺正确	倒扣	不合理每处扣 2 分		
机床操作 (倒扣分)	27	机床操作规范	倒扣	出错一次扣 2 分		
	28	工件、刀具装夹规范	倒扣	出错一次扣 2 分		
安全文明生产 (倒扣分)	29	安全操作	倒扣	因安全事故停止操作 可酌情扣 5 ~ 30 分		
	30	整理机床	倒扣			

三、相关知识

1. 外形轮廓测量用量具

外形轮廓类零件常用的测量量具如图 16-2 所示，主要有游标卡尺、千分尺、万能角度尺、直角尺、R 规、百分表等。

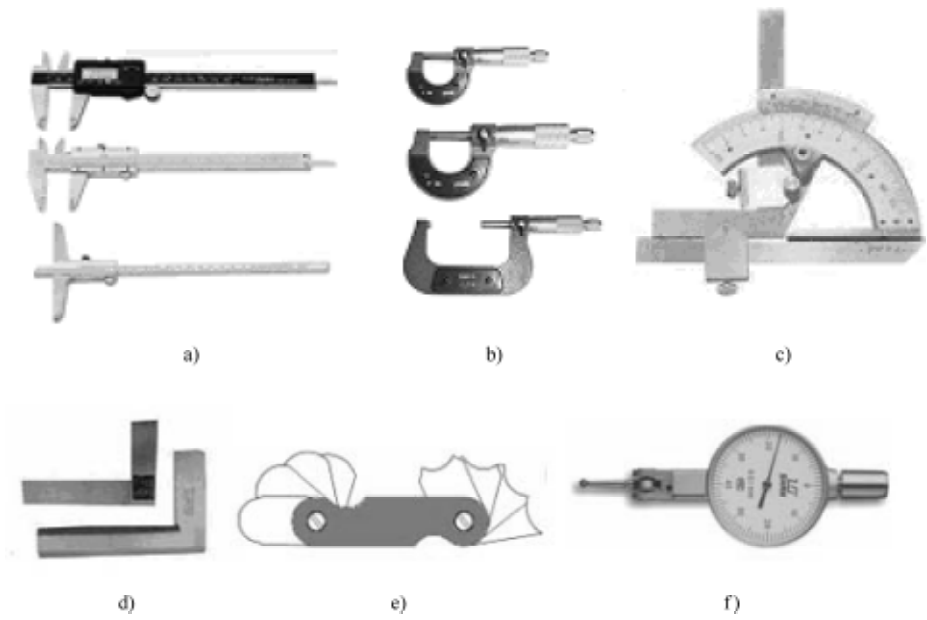


图 16-2 外形轮廓类零件常用测量量具

- a) 游标卡尺 b) 千分尺 c) 万能角度尺
d) 直角尺 e) R 规 f) 百分表

2. 内孔测量用量具

内孔测量主要分孔径测量和孔距测量两种。

(1) 孔径测量 孔径的测量量具如图 16-3 所示。当孔径尺寸精度要求较低时,可采用直尺、内卡钳或游标卡尺进行测量。当孔的精度要求较高时,可以用塞规、内径百分表、内径千分尺进行测量。

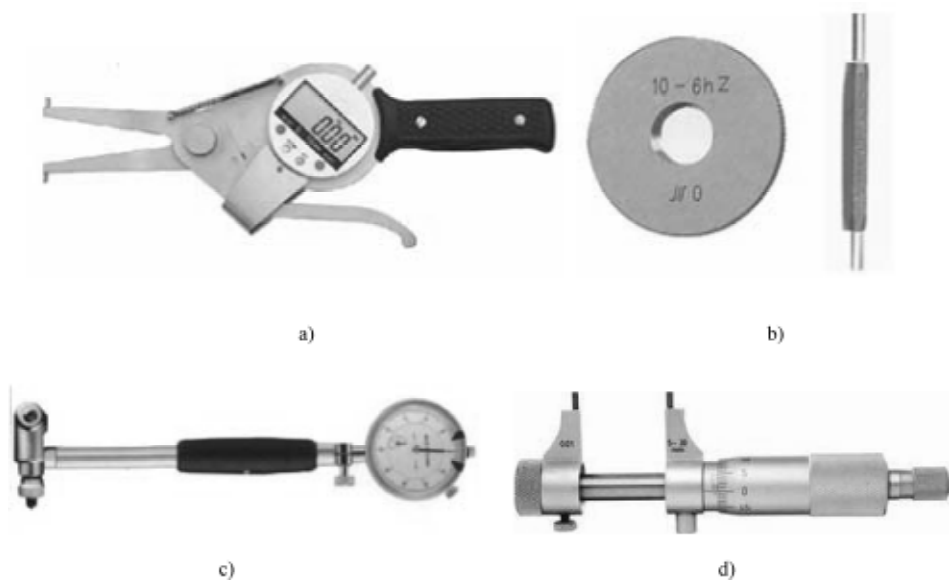


图 16-3 内孔孔径测量用量具

a) 数显内卡钳 b) 光环规和塞规 c) 内径百分表 d) 内径千分尺

(2) 孔距测量 测量孔距时,通常采用游标卡尺进行测量。精度较高的孔距也可采用内、外径千分尺配合圆柱测量芯棒进行测量。

四、零件加工

1. 加工思路分析

本样例的总体加工方案为:先采用坐标旋转方式加工反面正方形轮廓,再以反面轮廓为装夹基准加工正面轮廓。加工过程中的加工难点为:加工正面轮廓时的对刀问题。本样例选择反面的两个精铰孔作为对刀基准。

对于零件正面的内外轮廓,均可采用坐标旋转方式进行编程与加工。对于零件正面的内型腔,加工时可采用镜像指令进行编程,但采用镜像指令编程时,刀补方向和顺逆铣均发生了改变,难以控制零件的尺寸,因此不建议读者采用镜像指令进行编程与加工。如果采用镜像指令进行编程,则应注意镜像指令、坐标旋转、刀具补偿的先后次序,其次序为:镜像指令→坐标旋转→刀具补偿,取消次序则相反。

2. 基点坐标计算

本例工件选择 Mastercam 软件或 CAXA 制造工程师软件进行基点坐标分析，得出的局部基点坐标如图 16-4 所示。

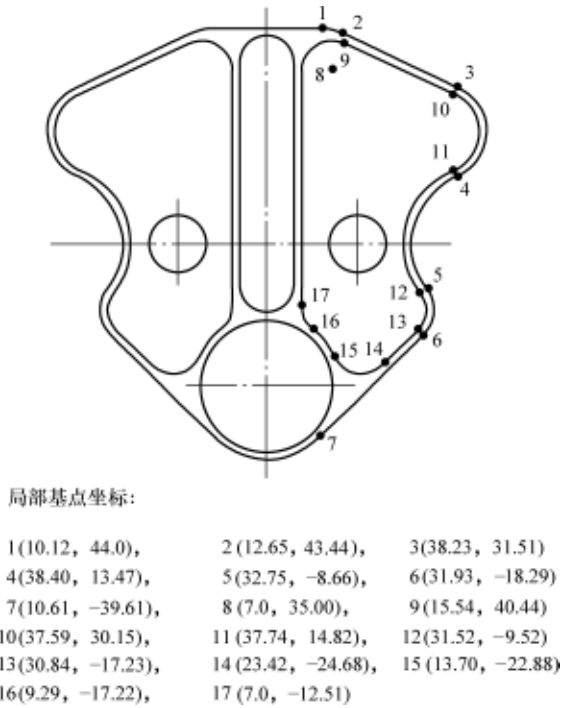


图 16-4 局部基点坐标

3. 参考程序

本例工件的参考程序见表 16-2。

表 16-2 职业技能鉴定样例 16 参考程序

FANUC 0i 系统程序	SIEMENS 802D 系统程序	程序说明
O0151;	AA151. MPF	正面轮廓精加工程序
G90 G94 G21 G40 G54 F500;	G90 G94 G71 G40 G54 F500	程序初始化
G91 G28 Z0;	G74 Z0	Z 向返回参考点
M03 S3000;	T1D1 M03 S3000	主轴正转，转速为 3000r/min
G90 G00 X-20.0 Y55.0 M08;	G00 X-20.0 Y55.0 M08	刀具定位
Z20.0;	Z20.0	
G01 Z-8.0;	G01 Z-8.0	
G68 X0 Y0 R45.0;	ROT RPL=45.0	坐标旋转



(续)

FANUC Oi 系统程序	SIEMENS 802D 系统程序	程序说明
G41 G01 Y44.0 D01;	G41 G01 Y44.0	加工正面外轮廓
X10.12	X10.12	
G02 X12.65 Y43.44 R6.0;	G02 X12.65 Y43.44 CR=6.0	
G01 X38.23 Y31.51;	G01 X38.23 Y31.51	
G02 X38.4 Y13.47 R10.0;	G02 X38.4 Y13.47 CR=10.0	
G03 X32.75 Y-8.66 R15.0;	G03 X32.75 Y-8.66 CR=15.0	
G02 X31.93 Y-18.29 R7.5;	G02 X31.93 Y-18.29 CR=7.5	
G01 X10.61 Y-39.61;	G01 X10.61 Y-39.61	
G02 X-10.61 R15.0;	G02 X-10.61 CR=15.0	
G01 X-31.93 Y-18.29;	G01 X-31.93 Y-18.29	
G02 X-32.75 Y-8.66 R7.5;	G02 X-32.75 Y-8.66 CR=7.5	
G03 X-38.4 Y13.47 R15.0;	G03 X-38.4 Y13.47 CR=15.0	
G02 X-38.23 Y31.51 R10.0;	G02 X-38.23 Y31.51 CR=10.0	
G01 X-12.65 Y43.44;	G01 X-12.65 Y43.44	
G02 X-10.12 Y44.0 R6.0;	G02 X-10.12 Y44.0 CR=6.0	
G40 G01 X0 Y55.0;	G40 G01 X0 Y55.0	刀具重新定位
G00 Z5.0;	G00Z5.0	
X18.0 Y0;	X18.0 Y0	
G01 Z-8.0;	G01 Z-8.0	加工右侧内型腔
G41 G01 X19.0 Y35.0 D01;	G41 G01 X19.0 Y35.0	
G03 X7.0 Y35.0 R6.0;	G03 X7.0 Y35.0 CR=6.0	
G01 Y-12.51;	G01 Y-12.51	
G03 X9.29 Y-17.22 R6.0;	G03 X9.29 Y-17.22 CR=6.0	
G02 X13.7 Y-22.88 R15.0;	G02 X13.7 Y-22.88 CR=15.0	
G03 X23.42 Y-24.68 R6.0;	G03 X23.42 Y-24.68 CR=6.0	
G01 X30.87 Y-17.23;	G01 X30.87 Y-17.23	
G03 X31.52 Y-9.52 R6.0;	G03 X31.52 Y-9.52 CR=6.0	
G02 X37.74 Y14.82 R16.5;	G02 X37.74 Y14.82 CR=16.5	
G03 X37.59 Y30.15 R8.5;	G03 X37.59 Y30.15 CR=8.5	
G01 X15.54 Y40.44;	G01 X15.54 Y40.44	取消刀具半径补偿
G40 G01 X18.0 Y0;	G40 G01 X18.0 Y0	

(续)		
FANUC 0i 系统程序	SIEMENS 802D 系统程序	程序说明
G00 Z5.0;	G00 Z5.0	刀具定位
X -18.0 Y0;	X -18.0 Y0	
G01 Z -8.0;	G01 Z -8.0	
G41 G01 X -13.0 Y29.0 D01;	G41 G01 X -13.0 Y29.0	加工左侧内型腔
G03 X -15.54 Y40.44 R -6.0;	G03 X -15.54 Y40.44 R -6.0	
.....		
G69;	ROT	取消坐标旋转
G91 G28 Z0 M09;	G74 Z0 M09	程序结束部分
M05;	M05	
M30;	M02	

注：请读者自行编写反面轮廓及孔的加工程序。

考核目标

- ◆ 复杂零件的编程与加工；
- ◆ 复杂零件的加工工艺分析；
- ◆ 正确使用坐标平移指令；
- ◆ 月牙形轮廓的宏程序（参数）编程思路。

一、考核要求

加工图 17-1 所示零件（坯件尺寸为 90mm×90mm×21mm），试分析其加工工艺并编写其数控铣加工程序。

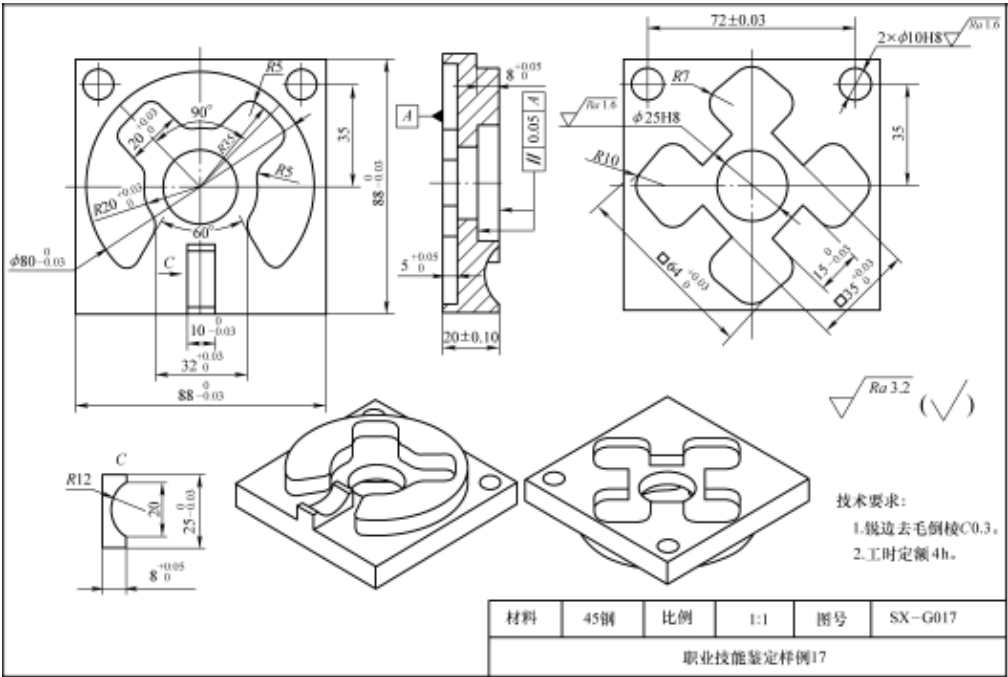


图 17-1 职业技能鉴定样例 17

二、加工准备与加工要求

1. 加工准备

本样例选择 TK7650 型 FANUC 0i 系统或 SIEMENS 802D 数控铣床或加工中心进行加工，编程方式采用手工编程，换刀方式采用手动换刀。

加工中使用的刀具、量具和工具参照表 1-1 进行配置，零件毛坯参照图 14-2 进行配置。

2. 加工要求

本样例的工时定额（包括编程与手动输入程序）为 4h，其加工要求见表 17-1。

表 17-1 职业技能鉴定样例 17 评分表

工件编号				总得分			
项目与配分		序号	技术要求	配分	评分标准	检测记录	得分
工件加工评分 (100)	正面 外形 轮廓 (50)	1	$88 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.03 \end{smallmatrix} \text{mm}$	3 × 2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		2	$\phi 80 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.03 \end{smallmatrix} \text{mm}$	3	超差 0.01mm 扣 1 分		
		3	$20 \begin{smallmatrix} +0.03 \\ 0 \end{smallmatrix} \text{mm}$	3 × 2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		4	$R20 \begin{smallmatrix} +0.03 \\ 0 \end{smallmatrix} \text{mm}$	2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		5	$32 \begin{smallmatrix} +0.03 \\ 0 \end{smallmatrix} \text{mm}$	3	超差 0.01mm 扣 1 分		
		6	$8 \begin{smallmatrix} +0.05 \\ 0 \end{smallmatrix} \text{mm}$	2 × 2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		7	$10 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.03 \end{smallmatrix} \text{mm}$	3	超差 0.01mm 扣 1 分		
		8	$25 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.03 \end{smallmatrix} \text{mm}$	3	超差 0.01mm 扣 1 分		
		9	R12mm 形状正确	3	不正确全扣		
		10	平行度 0.05mm	3 × 2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		11	(20 ± 0.10) mm	3	超差 0.02mm 扣 1 分		
		12	Ra3.2μm	3	超差一处扣 1 分		
		13	R5mm、R35mm 等	2	超差一处扣 1 分		
		14	工件轮廓形状完整	3	不完整一处扣 2 分		
	反面 外形 轮廓 (26)	15	$64 \begin{smallmatrix} +0.03 \\ 0 \end{smallmatrix} \text{mm}$	3 × 2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		16	$35 \begin{smallmatrix} +0.03 \\ 0 \end{smallmatrix} \text{mm}$	3 × 2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		17	$15 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.03 \end{smallmatrix} \text{mm}$	2 × 4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		18	$5 \begin{smallmatrix} +0.05 \\ 0 \end{smallmatrix} \text{mm}$	2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		19	R7mm、R10mm	1	每错一处扣 0.5 分		
		20	Ra3.2μm	2	超差一处扣 1 分		
		21	工件轮廓形状完整	1	不完整一处扣 1 分		
	孔 (18)	22	φ10H8	2 × 2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		23	(72 ± 0.03) mm	3	超差 0.01mm 扣 1 分		
		24	φ25H8 (镗孔)	3	超差 0.01mm 扣 1 分		
		25	Ra1.6μm	2 × 3	超差一处扣 2 分		
		26	工件轮廓形状完整	2	不完整一处扣 2 分		
	其他 (6)	27	工件按时完成	2	未按时完成全扣		
		28	工件无过切等缺陷	2	缺陷一处扣 2 分		
		29	工件去毛倒棱 C 0.3mm	2	酌情扣 0 ~ 2 分		



(续)

工件编号			总得分			
项目与配分	序号	技术要求	配分	评分标准	检测记录	得分
程序与工艺 (倒扣分)	30	程序正确合理	倒扣	每错一处扣1分		
	31	加工工艺正确	倒扣	不合理每处扣2分		
机床操作 (倒扣分)	32	机床操作规范	倒扣	出错一次扣2分		
	33	工件、刀具装夹规范	倒扣	出错一次扣2分		
安全文明生产 (倒扣分)	34	安全操作	倒扣	因安全事故停止操作 可酌情扣5~30分		
	35	整理机床	倒扣			

三、相关知识

1. FANUC 系统的坐标平移指令

在数控编程中,为了方便编程,有时要给程序选择一个新的参考,通常是工件坐标系偏移一个距离。在 FANUC 系统中,通过指令 G52 来实现,其指令格式如下:

G52 X__ Y__ Z__;

G52 X0 Y0 Z0;

G52: 设定局部坐标系,该坐标系的参考基准是当前设定的有效工件坐标系原点,即使用 G54 ~ G59 设定的工件坐标系;

X__ Y__ Z__ : 局部坐标系的原点在原工件坐标系中的位置,该值用绝对坐标值加以指定;

G52 X0 Y0 Z0: 取消局部坐标系,其实质是将局部坐标系仍设定在原工件坐标系原点处。

例如 G54;

G52 X20.0 Y10.0;

其表示设定一个新的工件坐标系,该坐标系位于原工件坐标系 XY 平面的 (20.0, 10.0) 位置,如图 17-2 所示。

2. SIEMENS 系统的坐标平移指令

TRANS/ATRANS 可以平移当前坐标系。如果

工件上不同的位置有重复出现的需加工的形状或结构,或者为方便编程要选用一个新的参考点,可用此项功能。使用坐标平移功能之后,会根据平移量产生一个新的当前坐标系,新输入的尺寸均是在新的当前坐标系中的数据尺寸。坐标平移的指令格式如下:

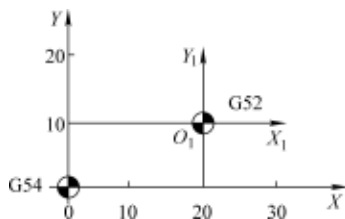


图 17-2 设定局部坐标系

TRANS X __ Y __ Z __;

ATRANS X __ Y __ Z __;

TRANS: 绝对可编程零位偏置, 参考基准是当前设定的有效工件零位, 即使用 G54 ~ G59 中设定的工件坐标系。

ATRANS: 附加可编程零位偏置, 参考基准为当前设定的或最后编程的有效工件零位, 该零位也可通过指令 TRANS 偏置的零位。

X __ Y __ Z __: 各轴的平移量。

例 1: TRANS X10.0 Y20.0 Z30.0;

例 2: ATRANS X10.0 Y20.0 Z30.0;

例 1 表示以 G54 ~ G59 中设定的工件坐标系原点为基点执行坐标系平移, 平移的距离为 X10.0 Y20.0 Z30.0。

例 2 表示以最后编程有效的工件坐标系原点为基点执行坐标系平移, 平移的距离为 X10.0 Y20.0 Z30.0。如果在同一程序中执行了例 1 指令后, 再执行例 2 指令, 则经过两次坐标平移后的零位相对于 G54 设定的工件坐标系原点偏移了 X20.0 Y40.0 Z60.0 的距离。

四、零件加工

1. 加工思路分析

本样例的加工难点在于采用手工编程方式加工月牙形轮廓, 其加工思路如图 17-3 所示。刀具 (刀具半径为 6mm) 中心位于 b 点位置时, 刀具作前后的移动, 然后刀具沿 bc 轨迹移动, 每移动一个位置后刀具作前后的移动, 加工出图中的月牙形轮廓, 这种加工方式类似于曲面加工中的平行铣削。

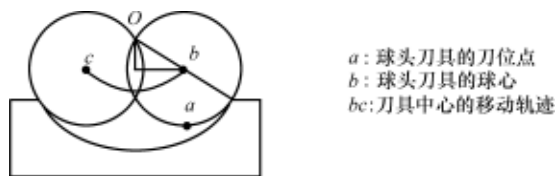


图 17-3 编程思路

加工过程中采用宏程序编程, 编程时在 YZ 平面内以刀具 (刀具半径为 6mm) 球心 b 点的 Y 坐标为自变量, Z 坐标为应变量。编程过程中使用以下变量进行运算:

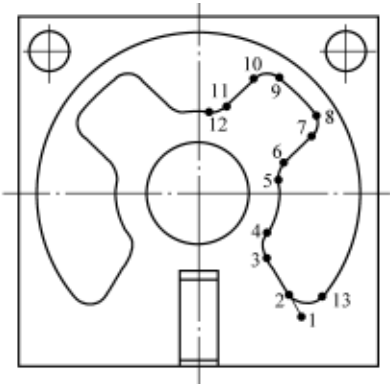
#1: 曲线公式中的 Y 坐标, 其初始值为 -5.0。

#2: 曲线公式中的 Z 坐标。#2 = -SQRT [36.0 - #1 * #1]。

#3: 刀位点的 Y 坐标, #3 = #1。
#4: 刀位点的 Z 坐标, #4 = #2 - 6.0 + 6.63。

2. 基点坐标计算

本例工件选择 Mastercam 软件或 CAXA 制造工程师软件进行基点坐标分析, 得出的局部基点坐标如图 17-4 所示。



局部基点坐标:

1 (25.29, -30.99),	2 (22.09, -25.45),	3 (16.67, -16.06)
4 (16.80, -10.85),	5 (19.80, 2.83),	6 (21.21, 7.07)
7 (27.99, 13.85),	8 (28.53, 20.28),	9 (20.28, 28.53)
10 (13.85, 27.99),	11 (7.07, 21.21),	12 (2.83, 19.80)
13 (31.20, -26.23)		

图 17-4 局部基点坐标

3. 参考程序

本例工件的参考程序见表 17-2。

表 17-2 职业技能鉴定样例 17 参考程序

FANUC Oi 系统程序	SIEMENS 802D 系统程序	程序说明
O0171;	AA171. MPF	正面轮廓精加工程序
G90 G94 G21 G40 G54 F500;	G90 G94 G71 G40 G54 F500	程序初始化
G91 G28 Z0;	G74 Z0	Z 向返回参考点
M03 S3000;	T1D1 M03 S3000	主轴正转, 转速为 3000r/min
G90 G00 X20.0 Y -55.0 M08;	G00 X20.0 Y -55.0 M08	刀具定位
Z20.0;	Z20.0	
G01 Z -8.0;	G01 Z -8.0	

(续)

FANUC Oi 系统程序	SIEMENS 802D 系统程序	程序说明
G41 G01 X25.29 Y-30.99 D01;	G41 G01 X25.29 Y-30.99	加工正面外轮廓
X16.67 Y-16.06;	X16.67 Y-16.06	
G02 X16.80 Y-10.85 R5.0;	G02 X16.80 Y-10.85 CR=5.0	
G03 X19.80 Y2.83 R20.0;	G03 X19.80 Y2.83 CR=20.0	
G02 X21.21 Y7.07 R5.0;	G02 X21.21 Y7.07 CR=5.0	
G01 X27.99 Y13.85;	G01 X27.99 Y13.85	
G03 X28.53 Y20.28 R5.0;	G03 X28.53 Y20.28 CR=5.0	
G03 X20.28 Y28.53 R35.0;	G03 X20.28 Y28.53 CR=35.0	
G03 X13.85 Y27.99 R5.0;	G03 X13.85 Y27.99 CR=5.0	
G01 X7.07 Y21.21;	G01 X7.07 Y21.21	
G02 X2.83 Y19.80 R5.0;	G02 X2.83 Y19.80 CR=5.0	
G03 X-2.83 R20.0;	G03 X-2.83 CR=20.0	
G02 X-7.07 Y21.21 R5.0;	G02 X-7.07 Y21.21 CR=5.0	
G01 X-13.85 Y27.99;	G01 X-13.85 Y27.99	
G03 X-20.28 Y28.53 R5.0;	G03 X-20.28 Y28.53 CR=5.0	
G03 X-28.53 Y20.28 R35.0;	G03 X-28.53 Y20.28 CR=35.0	
G03 X-27.99 Y13.85 R5.0;	G03 X-27.99 Y13.85 CR=5.0	
G01 X-21.21 Y7.07;	G01 X-21.21 Y7.07	
G02 X-19.80 Y2.83 R5.0;	G02 X-19.80 Y2.83 CR=5.0	
G03 X-16.80 Y-10.85 R20.0;	G03 X-16.80 Y-10.85 CR=20.0	
G02 X-16.67 Y-16.06 R5.0;	G02 X-16.67 Y-16.06 CR=5.0	
G01 X-22.09 Y-25.45;	G01 X-22.09 Y-25.45	
G02 X-31.20 Y-26.23 R5.0;	G02 X-31.20 Y-26.23 CR=5.0	
G02 X31.20 R-40.0;	G02 X31.20 CR=-40.0	加工长方体
G02 X22.09 Y-25.45 R5.0;	G02 X22.09 Y-25.45 CR=5.0	
G40 G01 X20.0 Y-55.0;	G40 G01 X20.0 Y-55.0	
G41 G01 Y-45.0 D01;	G41 G01 Y-45.0	
X-5.0;	X-5.0	
Y-20.0;	Y-20.0	
X5.0;	X5.0	
Y-50.0;	Y-50.0	加工长方体
G40 G01 X20.0 Y-55.0;	G40 G01 X20.0 Y-55.0	

(续)

FANUC Oi 系统程序	SIEMENS 802D 系统程序	程序说明
G91 G28 Z0 M09;	G74 Z0 M09	程序结束部分
M05;	M05	
M30;	M02	
O0172;	AA172. MPF	精加工月牙形轮廓
G90 G94 G21 G40 G54 F500;	G90 G94 G71 G40 G54 F500	初始化
G91 G28 Z0;	G74 Z0	刀具定位(刀具直径为 6mm)
M03 S2000;	T1D1 M03 S2000	
G90 G00 X-12.0 Y-55.0 M08;	G00 X-12.0 Y-55.0 M08	
Z20.0;	Z20.0	
G52 X0 Y-32.5;	TRANS X0 Y-32.5	坐标平移
#100 = -12.0;	R10 = -12.0	X 向刀位点坐标
#1 = -5.0;	R1 = -5.0	公式中的 Y 坐标
N100 #2 = -SQRT [36.0 - #1 * #1];	MA1: R2 = - SQRT [36.0 - R1 * R1]	公式中的 Z 坐标
#3 = #1;	R3 = R1	工件坐标系中的坐标
#4 = #2 - 6.0 + 6.63;	R4 = R2 - 6.0 + 6.63	
#100 = -#100;	R10 = -R10	加工轮廓
G01 Y#3 Z#4;	G01 Y = R3 Z = R4	
X#100;	X = R10	
#1 = #1 + 0.5	R1 = R1 + 0.5	条件判断
IF [#1 LE 5.0] GOTO 100;	IF R1 < = 5.0 GOTOB MA1	
G52 X0 Y0;	TRANS	取消坐标平移
...	...	程序结束部分

思考：如果不采用坐标平移进行编程，则如何进行编程？

五、样例小结

坐标平移指令是一个非常实用的指令，用好这个指令，可以大大简化编程，本例工件在编程过程中即使用坐标平移指令。此外，在工厂的实际生产中，有时在一次装夹中会同时加工多个相同的零件，如采用坐标平移指令进行编程与加工，定能达到事半功倍的效果。

职业技能鉴定样例

18

考核目标

- ◆ 复杂零件的编程与加工；
- ◆ 复杂零件的加工工艺分析；
- ◆ 外螺纹的铣削方法；
- ◆ 机用虎钳（压板）的装夹与找正。

一、考核要求

加工图 18-1 所示零件（坯件尺寸为 $90\text{mm} \times 90\text{mm} \times 21\text{mm}$ ），试分析其加工工艺并编写其数控铣加工程序。

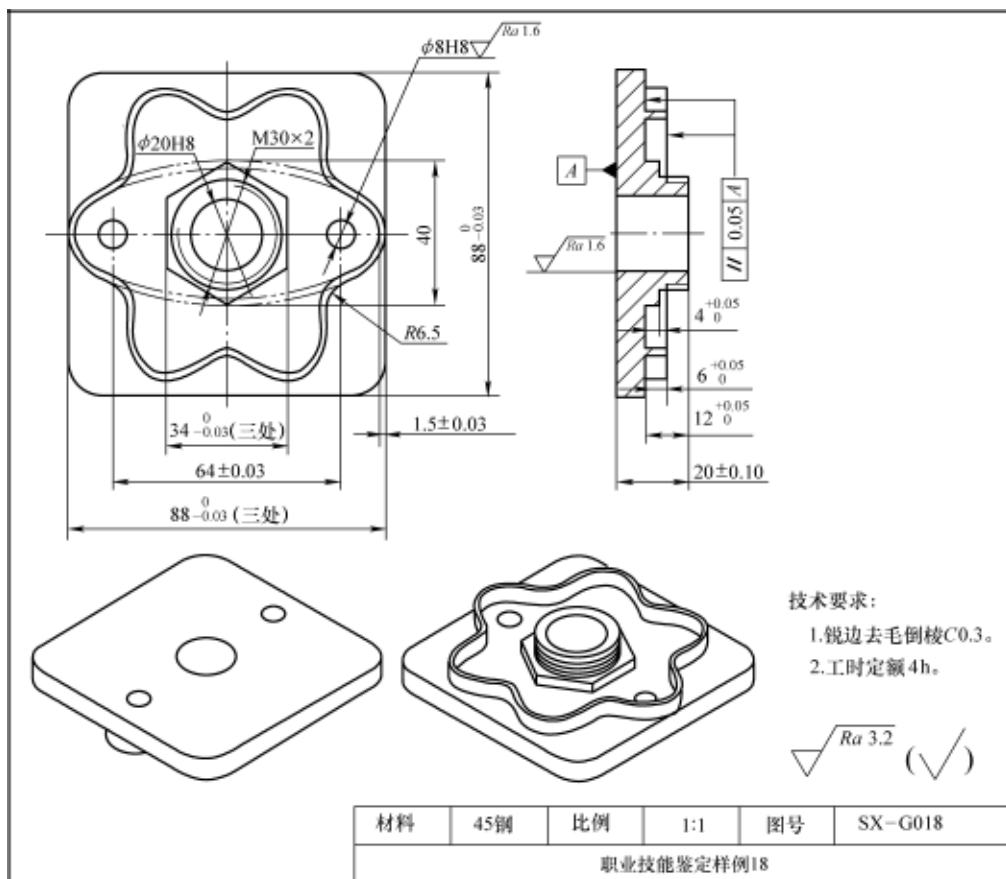


图 18-1 职业技能鉴定样例 18

二、加工准备与加工要求

1. 加工准备

本样例选择 TK7650 型 FANUC 0i 系统或 SIEMENS 802D 数控铣床或加工中心进行加工,编程方式采用手工编程,换刀方式采用手动换刀。

加工中使用的刀具、量具和工具参照表 1-1 进行配置,零件毛坯参照图 14-2 进行配置。

2. 加工要求

本样例的工时定额(包括编程与手动输入程序)为 4h,其加工要求见表 18-1。

表 18-1 职业技能鉴定样例 18 评分表

工件编号				总得分			
项目与配分		序号	技术要求	配分	评分标准	检测记录	得分
工件加工评分 (100)	外形轮廓 (70)	1	$88_{-0.03}^0\text{mm}$	3×5	超差 0.01mm 扣 1 分		
		2	$34_{-0.03}^0\text{mm}$	3×3	超差 0.01mm 扣 1 分		
		3	$4_{+0.05}^0\text{mm}$	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		4	$6_{+0.05}^0\text{mm}$	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		5	$12_{+0.05}^0\text{mm}$	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		6	(1.5 ±0.03) mm	4×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		7	椭圆形状正确	3×3	不正确全扣		
		8	平行度 0.05mm	3×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		9	(20 ±0.10) mm	3	超差 0.02mm 扣 1 分		
		10	<i>Ra</i> 3.2μm	3	超差一处扣 1 分		
		11	<i>R</i> 6.5mm 等	2	超差一处扣 1 分		
		12	工件轮廓形状完整	3	不完整一处扣 2 分		
	孔 (24)	13	φ8H8	2×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		14	(64 ±0.03) mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		15	φ20H8 (镗孔)	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		16	<i>Ra</i> 1.6μm	2×3	超差一处扣 2 分		
		17	M30×2	4	超差全扣		
		18	工件轮廓形状完整	2	不完整一处扣 2 分		
	其他 (6)	19	工件按时完成	2	未按时完成全扣		
		20	工件无过切等缺陷	2	缺陷一处扣 2 分		
		21	工件去毛倒棱 <i>C</i> 0.3mm	2	酌情扣 0~2 分		
程序与工艺 (倒扣分)		22	程序正确合理	倒扣	每错一处扣 1 分		
		23	加工工艺正确	倒扣	不合理每处扣 2 分		

(续)

工件编号			总得分			
项目与配分	序号	技术要求	配分	评分标准	检测记录	得分
机床操作 (倒扣分)	24	机床操作规范	倒扣	出错一次扣 2 分		
	25	工件、刀具装夹规范	倒扣	出错一次扣 2 分		
安全文明生产 (倒扣分)	26	安全操作	倒扣	因安全事故停止操作		
	27	整理机床	倒扣	可酌情扣 5 ~ 30 分		

三、相关知识

1. 加工中心刀具系统简介

加工中心的刀具系统如图 18-2 所示，它是刀具与加工中心的连接部分，由工作头（即刀具）、刀柄（含拉钉）、中间模块等组成，起到固定刀具及传递动力的作用。

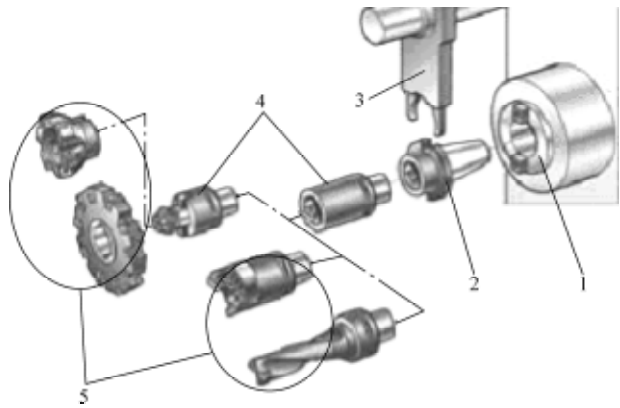


图 18-2 刀具系统的组成

1—主轴 2—刀柄 3—换刀机械手 4—中间模块 5—工作头

2. 刀柄

切削刀具通过刀柄与数控铣床主轴连接，其强度、刚度、耐磨性、制造精度以及夹紧力等对加工均有直接的影响。数控铣床刀柄一般采用 7: 24 锥面与主轴锥孔配合定位，刀柄及刀柄尾部供主轴内拉紧机构用的拉钉已实现标准化，其使用的标准有国际标准（ISO）和中国、美国、德国、日本等各国国家标准。因此，数控铣床刀柄系统应根据所选用的数控铣床要求进行配备。

加工中心刀柄可分为整体式与模块式两类。根据刀柄柄部形式及所采用国家标准的不同，我国使用的刀柄形式如图 18-3 所示，主要有 BT（日本 MAS 标准）系列、JT（GB 与 ISO 标准，带机械手夹持槽）和 ST（ISO 或 GB，不带机械手夹持槽）系列、CAT（美国 ANSI 标准）系列、DIN（德国标准）系列等几种，这几种系列的刀柄除局部槽的形状不同外，其余结构基本相同。根据锥柄大端直径的不同，刀柄又分成 40、45、50（个别的还有 30 和 35）等几种不同的锥度号，如 BT/JT/ST50 和 BT/JT/ST40 分别代表锥柄大端直径为 69.85 mm 和 44.45mm 的 7: 24 锥柄。

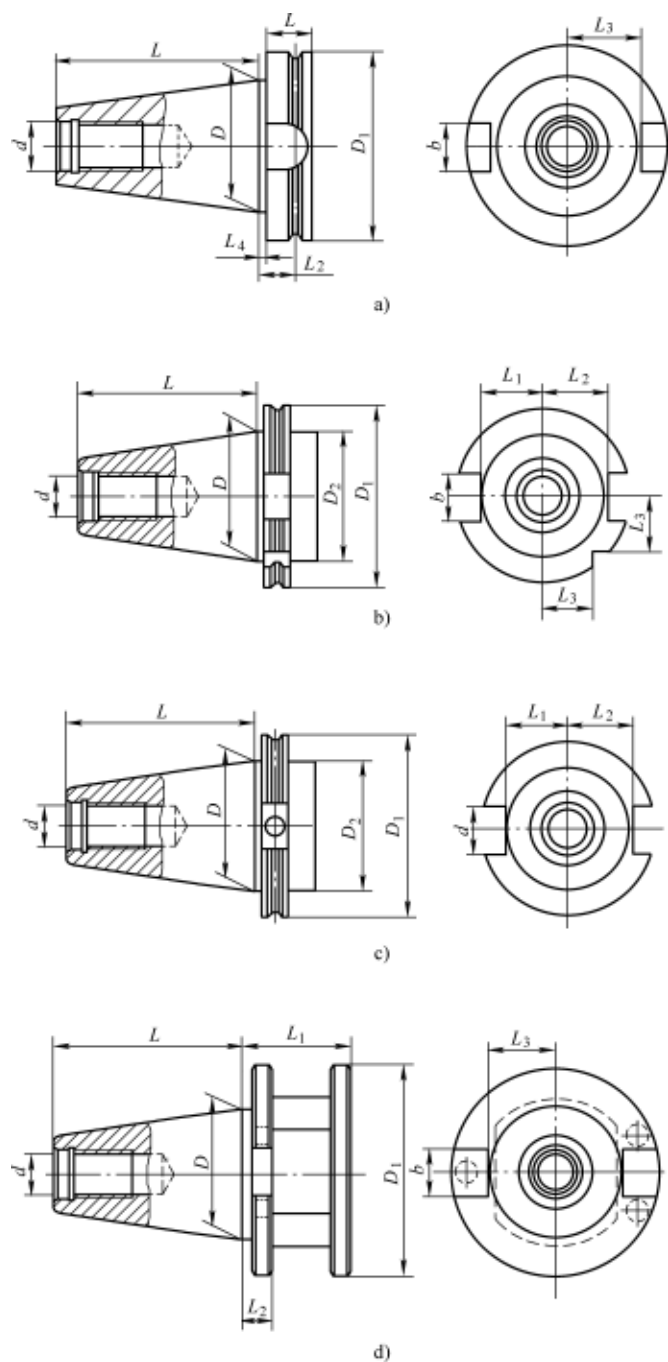


图 18-3 我国常用的数控铣床/加工中心刀柄系列

a) BT 系列刀柄 b) JT 系列刀柄 c) CAT 系列刀柄 d) DIN 系列刀柄

3. 弹簧夹头

加工刀具通过弹簧夹头与数控刀柄连接。弹簧夹头有两种，即 ER 弹簧夹头和 KM 弹簧夹头。其中 ER 弹簧夹头的夹紧力较小，适用于切削力较小的场合；KM 弹簧夹头的夹紧力较大，适用于强力铣削。采用这两种弹簧夹头的刀柄也各不相同，用于夹持 ER 弹簧夹头的刀柄（见图 18-4a）通常简称为弹簧刀柄，而用于夹持 KM 弹簧夹头的刀柄（见图 18-4b）通常简称为强力刀柄。

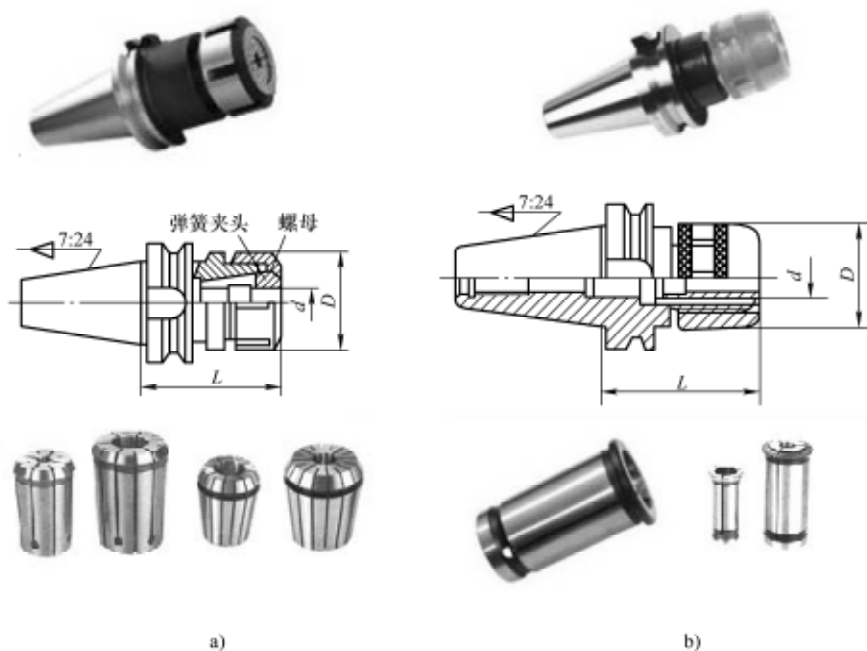


图 18-4 弹簧夹头及其相应刀柄

a) ER 弹簧夹头及刀柄 b) KM 弹簧夹头及刀柄

4. 拉钉

如图 18-5 所示，拉钉位于刀柄的尾部，用于主轴中拉紧刀柄。虽然各种系列刀柄的拉钉均已标准化，但由于各种系列刀柄的标准不同，造成各种系列刀柄的拉钉也各不相同，且相互间不能混用，各种系列刀柄的拉钉规格如图 18-6 所示（图中的各参数请查阅有关标准的规定）。另外，ISO 或 GB 规定了 JT 系列刀柄具有 A 型和 B 型两种形式的拉钉，其中 A 型拉钉用于不带钢球的拉紧装置，而 B 型拉钉用于带钢球的拉紧装置。

5. 中间模块

中间模块是刀柄和刀具之间的中间连接装置，通过中间模块的使用，提高了刀柄的通用性能。例如，镗刀、丝锥与莫氏钻头和刀柄的连接就经常使用中间模块，



图 18-5 拉钉实物图

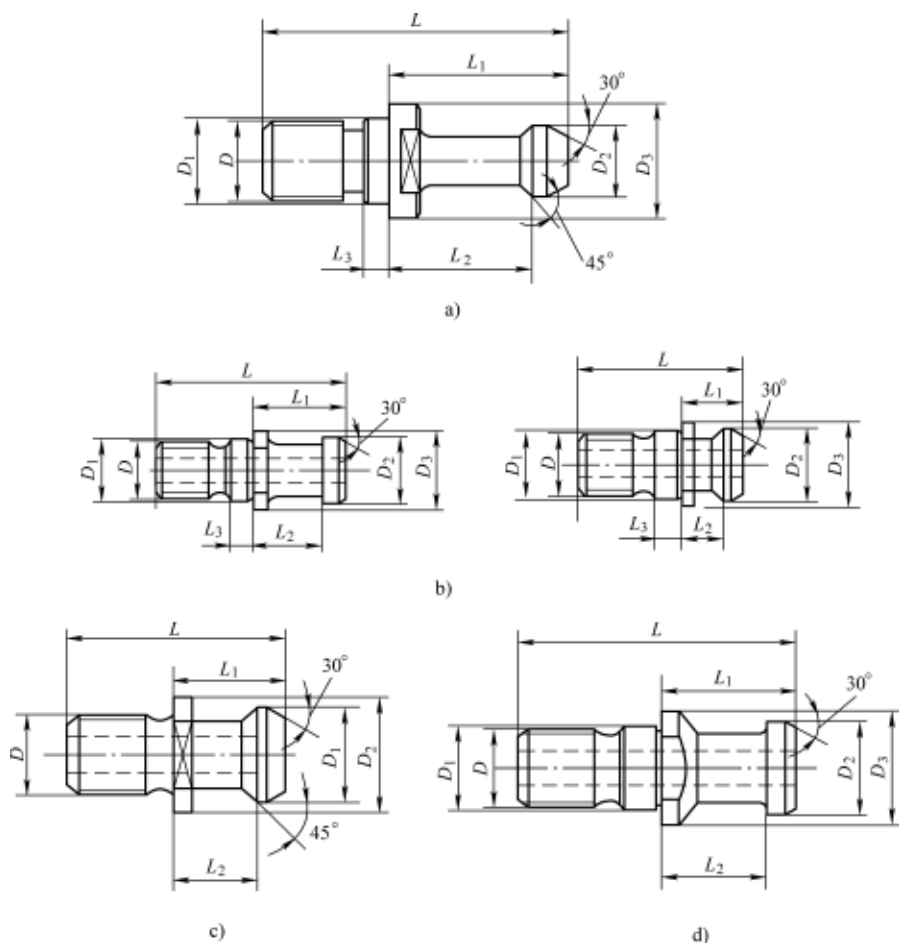


图 18-6 各种系列刀柄的拉钉规格

a) BT 刀柄的拉钉 b) JT 刀柄的拉钉 c) CAT 刀柄的拉钉 d) DIN 刀柄的拉钉

如图 18-7 列出了部分中间模块的实物图。

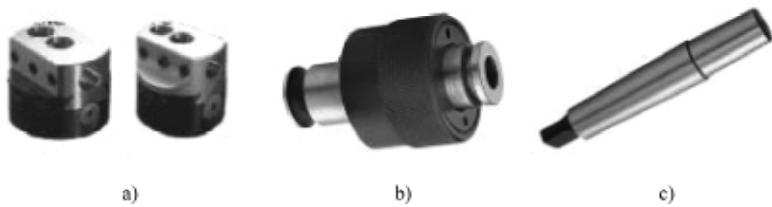


图 18-7 中间模块

a) 精镗刀中间模块 b) 攻螺纹夹套 c) 钻夹头接柄

四、零件加工

1. 加工难点分析

本样例的加工难点在于外轮廓的加工和外螺纹的加工。

对于外轮廓，采用坐标旋转结合宏程序的方式进行编程；对于单个轮廓，以 Y 坐标作为自变量， X 坐标作为应变变量，编程过程中使用以下变量进行运算。

#1: 曲线公式中的 Y 坐标，也就是曲线上各点在工件坐标系中的 Y 坐标；

#2: 曲线公式中的 X 坐标，也就是曲线上各点在工件坐标系中的 X 坐标；

#2 = $44/20 * \text{SQRT} [20.0 * 20.0 - \#1 * \#1]$

#3: 坐标旋转角度参数，初始值为 360° 。

对于外螺纹加工，FANUC 系统和 SIEMENS 系统可采用不同的编程方式，FANUC 系统采用宏程序方式进行外螺纹铣削，而 SIEMENS 系统则采用固定循环指令“CYCLE90”进行编程。

2. 参考程序

本例工件的参考程序见表 18-2。

表 18-2 职业技能鉴定样例 18 参考程序

FANUC Oi 系统程序	SIEMENS 802D 系统程序	程序说明
00181;	AA181.MPF	正面轮廓精加工程序
G90 G94 G21 G40 G54 F500;	G90 G94 G71 G40 G54 F500	程序初始化
G91 G28 Z0;	G74 Z0	Z 向返回参考点
M03 S3000;	T1D1 M03 S3000	主轴正转，转速为 3000r/min
G90 G00 X55.0 Y20.0 M08;	G00 X55.0 Y20.0 M08	刀具定位
Z20.0;	Z20.0	
G01 Z-12.0;	G01 Z-12.0	
#3 = 360.0;	R10 = 360.0	
N50 G68 X0 Y0 R#3;	MA2: ROT RPL = R10	



(续)

FANUC Oi 系统程序	SIEMENS 802D 系统程序	程序说明
G41 G01 X34.33 Y26.32 D01;	G41 G01 X34.33 Y26.32	加工右上方圆弧
G03 X31.57 Y13.93 R6.5;	G03 X31.57 Y13.93 CR = 6.5	
#1 = 13.43;	R1 = 13.43	加工右侧半椭圆
N100 #2 = 44/20 * SQRT [20.0 * 20.0 - #1 * #1];	MA1: R2 = 44/20 * SQRT (20.0 * 20.0 - R1 * R1)	
G01 X#2 Y#1;	G01 X = R2 Y = R1	
G01 X27.99 Y13.85;	G01 X27.99 Y13.85	
#1 = #1 - 0.5;	R1 = R1 - 0.5	
IF [#1 GE -13.93] GOTO 100;	IF R1 > = -13.93 GOTOB MA1	
G40 G01 X34.33 Y19.82;	G40 G01 X34.33 Y19.82	
G69;	ROT	加工外轮廓
#3 = #3 - 60.0;	R10 = R10 - 60.0	
IF [#3 GT 0] GOTO 50;	IF R10 > 0 GOTOB MA2	
G91 G28 Z0 M09;	G74 Z0 M09	程序结束部分
M05;	M05	
M30;	M02	
O0182;	AA182. MPF	铣削外螺纹
G90 G94 G21 G40 G54 F500;	G90 G94 G71 G40 G54 F200	初始化
G91 G28 Z0;	G74 Z0	刀具定位
M03 S2000;	T1D1 M03 S2000	
G90 G00 X35.0 Y0 M08;	G00 X35.0 Y0 M08	
Z20.0;	Z20.0	
G01 Z2.0 F100;	CYCLE90 (10, 0, 2, - 4.0, , 30, 27.4, 2, 100, 2, 1, 0, 0)	加工外螺纹
G41 G01 X13.7 D01;		
#1 = 0;		
N100 G02 I - 13.7 Z#1;		
#1 = #1 - 2.0;		
IF [#1 GE - 4.0] GOTO 100;		
G40 G01 X35.0;		
...	...	程序结束部分

思考：如何编写本例工件内轮廓的加工程序？

五、样例小结

选择铣刀的刀柄型号时，要特别注意根据机床主轴的形式来选取。通常情况下，各种系列刀柄不能混用。根据刀柄的不同，再选用与之配套的拉钉。

选择刀柄夹头时，通常根据加工性质选用。粗加工时，由于切削力较大，故选择强力刀柄夹头进行装夹。此时，如果选择弹簧夹头装夹刀具进行加工，则应增加刀具的夹紧力，以免在加工过程中造成拉刀等不良后果。精加工时，既可选择弹簧夹头，也可选择强力夹头刀柄。

考核目标

- ◆ 复杂零件的编程与加工；
- ◆ 复杂零件的加工工艺分析；
- ◆ 宏程序铣削球面的方法；
- ◆ 正弦曲线铣削方法；
- ◆ 极坐标编程方法。

一、考核要求

加工图 19-1 所示零件（坯件尺寸为 $90\text{mm} \times 90\text{mm} \times 21\text{mm}$ ），试分析其加工工艺并编写其数控铣加工程序。

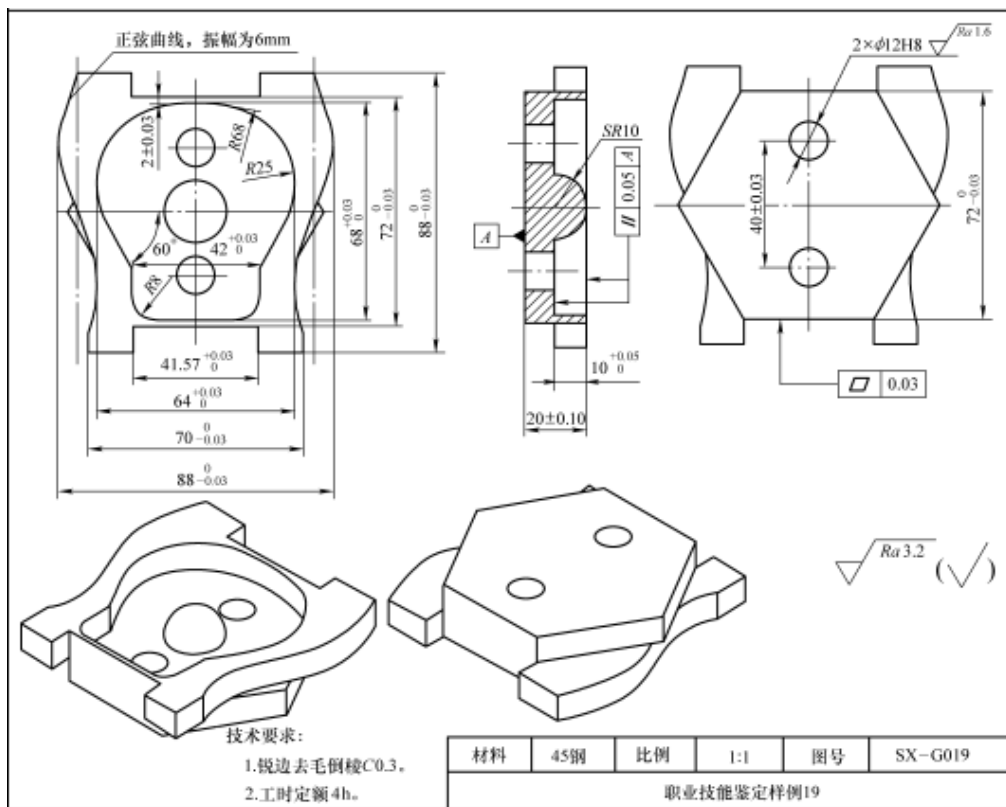


图 19-1 职业技能鉴定样例 19

二、加工准备与加工要求

1. 加工准备

本样例选择 TK7650 型 FANUC 0i 系统或 SIEMENS 802D 数控铣床或加工中心进行加工，编程方式采用手工编程，换刀方式采用手动换刀。

加工中使用的刀具、量具和工具参照表 1-1 进行配置，零件毛坯参照图 14-2 进行配置。

2. 加工要求

本样例的工时定额（包括编程与程序手动输入）为 4h，其加工要求见表 19-1。

表 19-1 职业技能鉴定样例 19 评分表

工件编号				总得分			
项目与配分	序号	技术要求	配分	评分标准	检测记录	得分	
工件加工评分 (100)	正面 外形 轮廓 (62)	1 88 ⁰ _{-0.03} mm	3×2	超差 0.01mm 扣 1 分			
		2 70 ⁰ _{-0.03} mm	3	超差 0.01mm 扣 1 分			
		3 72 ⁰ _{-0.03} mm	3×2	超差 0.01mm 扣 1 分			
		4 64 ^{+0.03} ₀ mm	3	超差 0.01mm 扣 1 分			
		5 68 ^{+0.03} ₀ mm	3	超差 0.01mm 扣 1 分			
		6 42 ^{+0.03} ₀ mm	3	超差 0.01mm 扣 1 分			
		7 41.57 ^{+0.03} ₀ mm	3	超差 0.01mm 扣 1 分			
		8 10 ^{+0.05} ₀ mm	3×2	超差 0.01mm 扣 1 分			
		9 (2±0.03) mm	3	超差 0.01mm 扣 1 分			
		10 曲线轮廓形状正确	3×2	不正确全扣			
		11 SR10mm 球面	3	不正确全扣			
		12 平行度 0.05mm	3×2	超差 0.01mm 扣 1 分			
		13 (20±0.10) mm	3	超差 0.02mm 扣 1 分			
		14 Ra3.2μm	3	超差一处扣 1 分			
		15 R68mm、R8mm 等	2	超差一处扣 1 分			
		16 工件轮廓形状完整	3	不完整一处扣 2 分			
	反面 轮廓 (19)	17 72 ⁰ _{-0.03} mm	3×3	超差 0.01mm 扣 1 分			
		18 平面度 0.03mm	3×2	超差 0.01mm 扣 1 分			
		19 Ra3.2μm	2	超差一处扣 1 分			
		20 工件轮廓形状完整	2	不完整一处扣 2 分			
	孔 (13)	21 φ12H8	2×2	超差 0.01mm 扣 1 分			
		22 (40±0.03) mm	3	超差 0.01mm 扣 1 分			
		23 Ra1.6μm	2×2	超差一处扣 2 分			
		24 工件轮廓形状完整	2	不完整一处扣 2 分			
	其他 (6)	25 工件按时完成	2	未按时完成全扣			
		26 工件无过切等缺陷	2	缺陷一处扣 2 分			
		27 工件去毛倒棱 C 0.3mm	2	酌情扣 0~2 分			

(续)

工件编号			总得分			
项目与配分	序号	技术要求	配分	评分标准	检测记录	得分
程序与工艺 (倒扣分)	28	程序正确合理	倒扣	每错一处扣1分		
	29	加工工艺正确	倒扣	不合理每处扣2分		
机床操作 (倒扣分)	30	机床操作规范	倒扣	出错一次扣2分		
	31	工件、刀具装夹规范	倒扣	出错一次扣2分		
安全文明生产 (倒扣分)	32	安全操作	倒扣	因安全事故停止操作可酌情扣5~30分		
	33	整理机床	倒扣			

三、零件加工

1. 球面加工思路分析

本例工件的球面与底平面的过渡方式为直角过渡，所以加工本例工件的球面时，不能选择球头铣刀进行加工，而需采用立铣刀进行加工。

精加工球面前，应先进行去余量加工，先加工出 $\phi 20\text{mm}$ 的圆柱，再一次性加工出球面，编程方式采用宏程序（参数）编程，编程思路如图19-2所示，加工时从X轴处切入到A点，加工一周圆轨迹后刀具抬高0.1mm，通过变量运算计算出相应的X值，再加工圆周轨迹，如此循环，直到刀具抬高到球面顶点处退出循环。以Z值作为自变量，每次变化0.1mm，X值为应变量， $X^2 = R^2 - Z^2$ ，开根号计算出X值。使用以下变量进行操作运算：

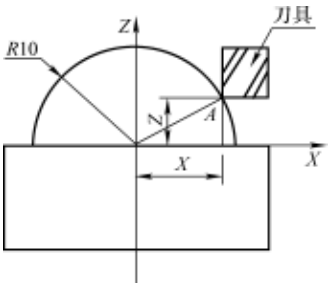


图 19-2 球面加工思路

- #1：球面Z向高度（图中尺寸Z）；
- #2：球面X向尺寸（图中尺寸X）；
- #3：刀尖点Z坐标值；
- #4：刀尖点X坐标值（加刀具半径）。

2. 正弦曲线编程思路

对于本例中的正弦曲线，在88mm的长度上分布一个周期的正弦曲线，则每毫米长度所对应的角度为 $360/88$ 。右侧正弦曲线的公式可写成 $X = 6 * \sin(Y * 360/88)$ 。Y为长度变量。编程过程中使用以下变量进行运算。

- #1：正弦曲线公式中的Y值（长度值），初始值为0，最大值为88；
- #2：正弦曲线公式中的X坐标， $\#2 = 6 * \sin(\#1 * 360/88)$ ；
- #3：工件坐标系中的Y坐标， $\#3 = 44.0 - \#1$ ；
- #4：工件坐标系中的X坐标， $\#4 = \#1 + 38.0$ 。

3. 加工工艺流程

本例工件的加工步骤如下：

- 1) 选择 $\phi 80\text{mm}$ 盘铣刀铣削上表面，保证厚度尺寸 20。
- 2) 选择 $\phi 16\text{mm}$ 立铣刀采用极坐编程方式加工正六边形，保证尺寸 $72\begin{smallmatrix} 0 \\ -0.03 \end{smallmatrix}$ 。
- 3) 以六面体作为基准，重新对零件进行装夹与找正。
- 4) 选择 B2.5 中心钻，钻定位孔。
- 5) 选择 $\phi 8\text{mm}$ 钻头钻孔。
- 6) 选择 $\phi 16\text{mm}$ 立铣刀粗、精加工正面外形轮廓，粗加工时选择高速钢刀具，精加工时选择硬质合金刀具。
- 7) 选择 $\phi 12\text{mm}$ 立铣刀粗、精加工正面内轮廓（包括用于加工球体的圆柱面），再使用同一刀具加工球面。
- 8) 选择 $\phi 11.8\text{mm}$ 钻头扩孔。
- 9) 选择 $\phi 12\text{H}8$ 铰刀进行铰孔。
- 10) 工件竖直装夹（两次）与找正，选择 $\phi 16\text{mm}$ 立铣刀粗、精加工上方和下方的两条槽。

4. 基点坐标计算

本例工件选择 Mastercam 软件或 CAXA 制造工程师软件进行基点坐标分析，得出的局部基点坐标如图 19-3 所示。

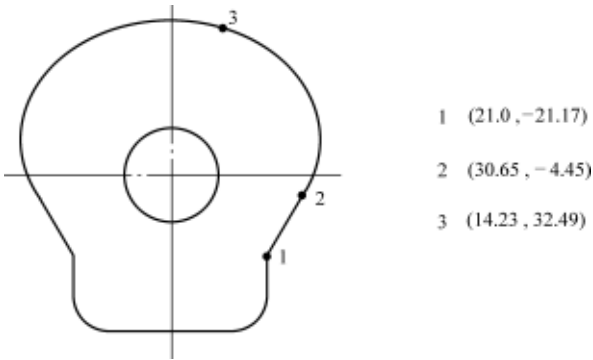


图 19-3 局部基点坐标

5. 参考程序

本例工件的参考程序见表 19-2。

表 19-2 职业技能鉴定样例 19 参考程序

FANUC Oi 系统程序	SIEMENS 802D 系统程序	程序说明
00191;	AA191. MPF	正面内轮廓加工程序
G90 G94 G21 G40 G54 F500;	G90 G94 G71 G40 G54 F500	程序初始化



(续)

FANUC Oi 系统程序	SIEMENS 802D 系统程序	程序说明
G91 G28 Z0;	G74 Z0	Z 向返回参考点
M03 S1500;	T1D1 M03 S1500	主轴正转, 转速为 1500/min
G90 G00 X0 Y-20.0 M08;	G00 X0Y-20.0 M08	刀具定位
Z20.0;	Z20.0	
G01 Z0;	G01 Z0	
G41 G01 X0 Y-10.0 D01;	G41 G01 X0 Y-10.0	加工圆柱体
G02 J10.0Z-4.0;	G02 J10.0Z-4.0	
G02 J10.0Z-8.0;	G02 J10.0Z-8.0	
G02 J10.0;	G02 J10.0	
G40 G01 Y-20.0;	G40 G01 Y-20.0	加工内轮廓
G41 G01 X-21.0 D01;	G41 G01 X-21.0	
G01 Y-26.0;	G01 Y-26.0	
G03 X-13.0 Y-34.0 R8.0;	G03 X-13.0 Y-34.0 CR=8.0	
G01 X13.0;	G01 X13.0	
G03 X21.0 Y-26.0 R8.0;	G03 X21.0 Y-26.0 CR=8.0	
G01 Y-21.16;	G01 Y-21.16	
X30.65Y-4.45;	X30.65 Y-4.45	
G03 X14.23 Y32.49 R25.0;	G03 X14.23 Y32.49CR=25.0	
G03 X-14.23 R68.0;	G03 X-14.23 CR=68.0	
G03 X-30.65 Y-4.45 R25.0;	G03 X-30.65 Y-4.45 CR=25.0	
G01 X-21.0 Y-21.17;	G01 X-21.0 Y-21.17	
G40 G01 X0 Y-20.0;	G40 G01 X0 Y-20.0	
#1=0;	R1=0	球面起点高度
N100 #2=SQRT [64.0-#1*#1];	MA1: R2=SQRT (64.0-R1*R1)	球面各点的 Y 坐标
#3=#1-8.0;	R3=R1-8.0	刀位点 Z 坐标
#4=#2+6.0;	R4=R2+6.0	刀位点 Y 坐标
G01Y-#4 Z#3;	G01Y=-R4 Z=R3	加工球面
G02 J#4;	G02 J=R4	
#1=#1+0.2;	R1=R1+0.2	
IF [#1 LT 8.0] GOTO 100;	IF R1<8.0 GOTOB MA1	
G01Y-20.0;	G01Y-20.0	

(续)

FANUC Oi 系统程序	SIEMENS 802D 系统程序	程序说明
G91 G28 Z0 M09;	G74 Z0 M09	程序结束部分
M05;	M05	
M30;	M02	
O0192;	AA192. MPF	铣削外螺纹
G90 G94 G21 G40 G54 F200;	G90 G94 G71 G40 G54 F200	初始化
G91 G28 Z0;	G74 Z0	刀具定位 (刀具直径为 6mm)
M03 S2000;	T1D1 M03 S2000	
G90 G00 X55.0 Y55.0 M08;	G00 X55.0 Y55.0 M08	
Z20.0;	Z20.0	
G01Z - 10.0;	G01Z - 10.0	建立刀具半径补偿
G41 G01 X45.0 Y45.0 D01;	G41 G01 X45.0 Y45.0 D01	
#1 = 0;	R1 = 0	长度赋初值
N100 #2 = 6 * sin [#1 * 360/88];	MA1: R2 = 6 * sin (R1 * 360/88)	公式中 X 坐标
#3 = 44 - #1;	R3 = 44.0 - R1	工件坐标系中 Y 坐标
#4 = #1 + 38.0;	R4 = R1 + 38.0	工件坐标系中 X 坐标
G01 X#4 Y#3;	G01 X = R4 Y = R3	加工曲线
#1 = #1 + 1.0;	R1 = R1 + 1.0	条件判断
IF [#1 LE 88.0] GOTO 100;	IF R1 < = 88.0 GOTOB MA1	
#1 = - 44.0;	R1 = - 44.0	长度赋初值
N200 #2 = 6 * sin [#1 * 360/88];	MA2: R2 = 6 * sin (R1 * 360/88)	公式中 X 坐标
#3 = #1;	R3 = R1	工件坐标系中 Y 坐标
#4 = #1 - 38.0;	R4 = R1 - 38.0	工件坐标系中 X 坐标
G01 X#4 Y#3;	G01 X = R4 Y = R3	加工曲线
#1 = #1 + 1.0;	R1 = R1 + 1.0	条件判断
IF [#1 LE 44.0] GOTO 100;	IF R1 < = 44.0 GOTOB MA2	
G40 G01 X - 55.0 Y55.0;	G40 G01 X - 55.0 Y55.0	刀具退出
...	...	程序结束部分

考核目标

- ◆ 复杂零件的编程与加工；
- ◆ 复杂零件的加工工艺分析；
- ◆ 数控铣床/加工中心刀具系统选择技巧。

一、考核要求

加工图 20-1 所示零件（坯件尺寸为 90mm × 90mm × 21mm），试分析其加工工艺并编写其数控铣加工程序。

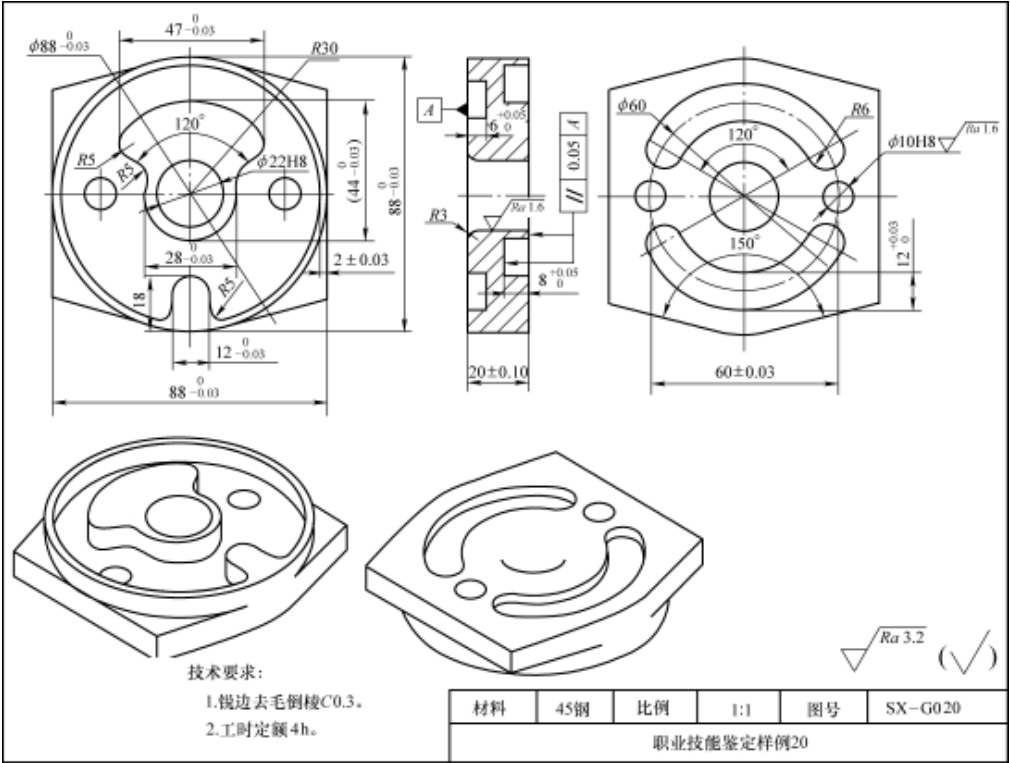


图 20-1 职业技能鉴定样例 20

二、加工准备与加工要求

1. 加工准备

本样例选择 TK7650 型 FANUC 0i 系统或 SIEMENS 802D 数控铣床或加工中心进行加工，编程方式采用手工编程，换刀方式采用手动换刀。

加工中使用的刀具、量具和工具参照表 1-1 进行配置，零件毛坯参照图 14-2 进行配置。

2. 加工要求

本样例的工时定额（包括编程与手动输入程序）为 4h，其加工要求见表 20-1。

表 20-1 职业技能鉴定样例 20 评分表

工件编号				总得分			
项目与配分		序号	技术要求	配分	评分标准	检测记录	得分
工件加工评分 (100)	正面 外形 轮廓 (52)	1	$88 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.03 \end{smallmatrix} \text{mm}$	3 × 2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		2	$\phi 88 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.03 \end{smallmatrix} \text{mm}$	3	超差 0.01mm 扣 1 分		
		3	$47 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.03 \end{smallmatrix} \text{mm}$	3	超差 0.01mm 扣 1 分		
		4	$28 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.03 \end{smallmatrix} \text{mm}$	3	超差 0.01mm 扣 1 分		
		5	$(44 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.03 \end{smallmatrix}) \text{mm}$	3	超差 0.01mm 扣 1 分		
		6	$12 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.03 \end{smallmatrix} \text{mm}$	3	超差 0.01mm 扣 1 分		
		7	$8 \begin{smallmatrix} +0.05 \\ 0 \end{smallmatrix} \text{mm}$	3 × 2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		8	$(2 \pm 0.03) \text{mm}$	3	超差 0.01mm 扣 1 分		
		9	平行度 0.05mm	3 × 2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		10	两台阶相切	3	不相切全扣		
		11	$(20 \pm 0.10) \text{mm}$	3	超差 0.02mm 扣 1 分		
		12	$Ra3.2\mu\text{m}$	4	超差一处扣 1 分		
		13	$R5\text{mm}$ 、 $R30\text{mm}$ 、 18mm 等	2	超差一处扣 1 分		
		14	工件轮廓形状完整	4	不完整一处扣 2 分		
	反面 轮廓 (20)	15	$12 \begin{smallmatrix} +0.03 \\ 0 \end{smallmatrix} \text{mm}$	3 × 2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		16	120°	1 × 2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		17	150°	1 × 2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		18	$6 \begin{smallmatrix} +0.05 \\ 0 \end{smallmatrix} \text{mm}$	3	超差 0.01mm 扣 1 分		
		19	两台阶相切	3	不相切全扣		
		20	$Ra3.2\mu\text{m}$	2	超差一处扣 1 分		
		21	工件轮廓形状完整	2	不完整一处扣 2 分		



(续)

工件编号				总得分			
项目与配分		序号	技术要求	配分	评分标准	检测记录	得分
工件加工评分 (100)	孔 (22)	22	φ10H8	2×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		23	(60 ±0.03) mm	3	超差 0.01mm 扣 1 分		
		24	R3mm 倒圆	3	超差全扣		
		25	φ22H8 (镗孔)	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		26	Ra1.6μm	2×3	超差一处扣 2 分		
		27	工件轮廓形状完整	2	不完整一处扣 2 分		
	其他 (6)	28	工件按时完成	2	未按时完成全扣		
		29	工件无过切等缺陷	2	缺陷一处扣 2 分		
		30	工件去毛倒棱 C 0.3mm	2	酌情扣 0 ~ 2 分		
	程序与工艺 (倒扣分)	31	程序正确合理	倒扣	每错一处扣 1 分		
		32	加工工艺正确	倒扣	不合理每处扣 2 分		
机床操作 (倒扣分)	33	机床操作规范	倒扣	出错一次扣 2 分			
	34	工件、刀具装夹规范	倒扣	出错一次扣 2 分			
安全文明生产 (倒扣分)	35	安全操作	倒扣	因安全事故停止操作			
	36	整理机床	倒扣	可酌情扣 5 ~ 30 分			

三、零件加工

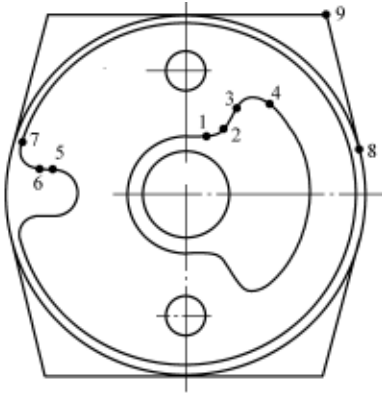
1. 加工步骤分析

本例工件的加工步骤如下：

- 1) 选择 φ80mm 盘铣刀铣削上表面，保证厚度尺寸 20。
- 2) 选择 φ16mm 立铣刀加工反面外形轮廓，保证尺寸 $88 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.03 \end{smallmatrix}$ 。
- 3) 选择 φ12mm 铣刀采用螺旋铣削方式加工圆形槽，保证槽宽尺寸 $12 \begin{smallmatrix} +0.03 \\ 0 \end{smallmatrix}$ 。
- 4) 选择 B2.5 中心钻，钻 3 个定位孔。
- 5) 选择 φ8mm 钻头钻孔。
- 6) 选择 φ9.8mm 钻头扩孔。
- 7) 选择 φ10H8 铰刀进行铰孔。
- 8) 选择 φ16mm 立铣刀铣孔至 21.5mm。
- 9) 精镗孔，保证尺寸 φ22H8。
- 10) 反面装夹，以 φ22H8 孔为基准重新对零件进行找正。
- 11) 选择 φ16mm 立铣刀加工反面外形轮廓，保证尺寸 $\phi 88 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.03 \end{smallmatrix}$ 。
- 12) 选择 φ12mm 立铣刀粗、精加工正面内轮廓。

2. 基点坐标计算

本例工件选择 Mastercam 软件或 CAXA 制造工程师软件进行基点坐标分析，得出的局部基点坐标如图 20-2 所示。



局部基点坐标:

1 (5.56, 14.0), 2 (9.89, 16.50), 3 (12.49, 21.0)
4 (20.18, 22.20), 5 (-32.0, 6.0), 6 (-35.33, 6.0)
7 (-40.10, 12.49), 8 (42.5, 11.39), 9 (33.76, 44.0)

图 20-2 局部基点坐标

3. 参考程序

本例工件的参考程序见表 20-2。

表 20-2 职业技能鉴定样例 20 参考程序

FANUC 0i 系统程序	SIEMENS 802D 系统程序	程序说明
O0201;	AA201. MPF	正面内轮廓加工程序
G90 G94 G21 G40 G54 F500;	G90 G94 G71 G40 G54 F500	程序初始化
G91 G28 Z0;	G74 Z0	Z 向返回参考点
M03 S1500;	T1D1 M03 S1500	主轴正转, 转速为 1500r/min
G90 G00 X0 Y30.0 M08;	G00 X0Y30.0 M08	刀具定位
Z20.0;	Z20.0	
G01 Z-8.0;	G01 Z-8.0	加工内轮廓
G41 G01 X-5.0 Y14.0 D01;	G41 G01 X-5.0 Y14.0	
G01 X5.56;	G01 X5.56	
G03 X9.89 Y16.50 R5.0	G03 X9.89 Y16.50 CR=5.0	



(续)

FANUC Oi 系统程序	SIEMENS 802D 系统程序	程序说明
G01 X12.49 Y21.0;	G01 X12.49 Y21.0	加工内轮廓
G02 X20.18 Y22.20 R5.0;	G02 X20.18 Y22.20 CR=5.0	
G02 X20.18 Y-22.20 R30.0;	G02 X20.18 Y-22.20 CR=30.0	
G02 X12.49 Y-21.0 R5.0;	G02 X12.49 Y-21.0 CR=5.0	
G01 X9.89 Y-16.50;	G01 X9.89 Y-16.50	
G03 X5.56 Y-14.0 R5.0;	G03 X5.56 Y-14.0 CR=5.0	
G01 X0;	G01 X0	
G02 X0 Y14.0 R14.0;	G02 X0 Y14.0 CR=14.0	
G40 G01 X0 Y30.0;	G40 G01 X0 Y30.0	
G00 Z3.0;	G00 Z3.0	刀具重新定位
X0 Y-30.0;	X0 Y-30.0	
G01 Z-8.0;	G01 Z-8.0	
G41 G01 X-30.0 Y-6.0;	G41 G01 X-30.0 Y-6.0	加工内轮廓
X-35.33;	X-35.33	
G03 X-40.10 Y-12.49 R5.0;	G03 X-40.10 Y-12.49 CR=5.0	
G03 Y12.49 R-42.0;	G03 Y12.49 CR=-42.0	
G03 X-35.33 Y6.0 R5.0;	G03 X-35.33 Y6.0 CR=5.0	
G01 X-32.0;	G01 X-32.0	
G02 Y-6.0 R6.0;	G02 Y-6.0 CR=6.0	
G40 G01 X0 Y-30.0;	G40 G01 X0 Y-30.0	程序结束部分
G91 G28 Z0 M09;	G74 Z0 M09	
M05;	M05	
M30;	M02	

职业技能鉴定样例

21

考核目标

- ◆ 复杂零件的编程与加工；
- ◆ 复杂零件的加工工艺分析；
- ◆ 高速切削简介。

一、考核要求

加工图 21-1 所示零件（坯件尺寸为 90mm × 90mm × 21mm），试分析其加工工艺并编写其数控铣加工程序。

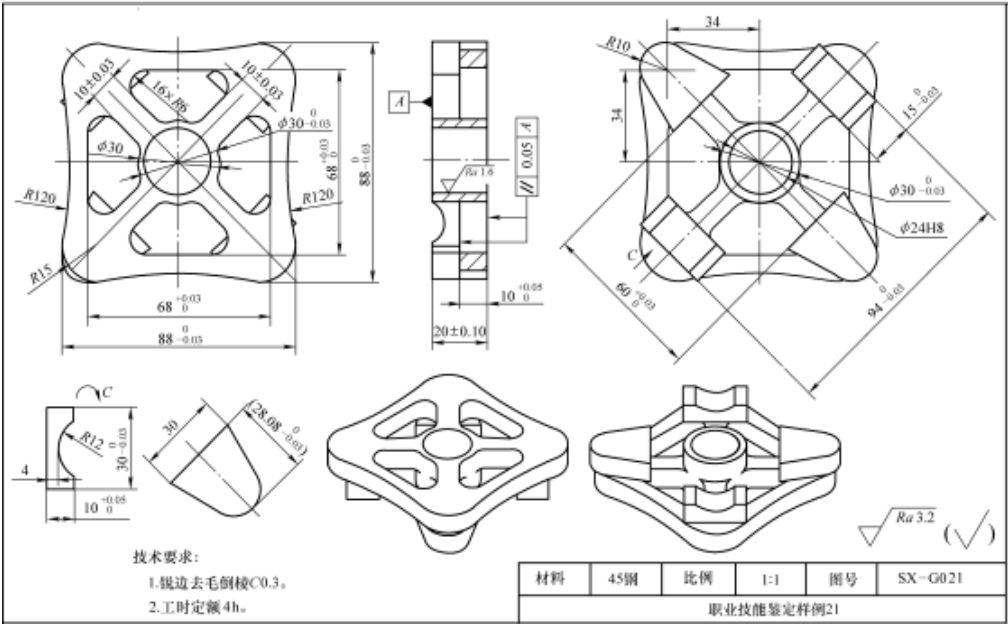


图 21-1 职业技能鉴定样例 21

二、加工准备与加工要求

1. 加工准备

本样例选择 TK7650 型 FANUC 0i 系统或 SIEMENS 802D 数控铣床或加工中心



进行加工，编程方式采用手工编程，换刀方式采用手动换刀。

加工中使用的刀具、量具和工具参照表 1-1 进行配置，零件毛坯参照图 14-2 进行配置。

2. 加工要求

本样例的工时定额（包括编程与程序手动输入）为 4h，其加工要求见表 21-1。

表 21-1 职业技能鉴定样例 21 评分表

工件编号				总得分			
项目与配分		序号	技术要求	配分	评分标准	检测记录	得分
工件加工评分 (100)	正面 外形 轮廓 (43)	1	88 ⁰ _{-0.03} mm	3×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		2	68 ^{+0.03} ₀ mm	3×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		3	φ30 ⁰ _{-0.03} mm	3	超差 0.01mm 扣 1 分		
		4	(10±0.03) mm	2×4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		5	10 ^{+0.05} ₀ mm	3	超差 0.01mm 扣 1 分		
		6	平行度 0.05mm	3×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		7	(20±0.10) mm	3	超差 0.02mm 扣 1 分		
		8	Ra3.2μm	3	超差一处扣 1 分		
		9	R15mm、R120mm、R6mm 等	2	超差一处扣 1 分		
		10	工件轮廓形状完整	3	不完整一处扣 2 分		
	反面 轮廓 (44)	11	60 ^{+0.03} ₀ mm	3×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		12	94 ⁰ _{-0.03} mm	3	超差 0.01mm 扣 1 分		
		13	φ30 ⁰ _{-0.03} mm	3	超差 0.01mm 扣 1 分		
		14	15 ⁰ _{-0.03} mm	3×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		15	30 ⁰ _{-0.03} mm	3×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		16	10 ^{+0.05} ₀ mm	3	超差 0.01mm 扣 1 分		
		17	(28.08 ⁰ _{-0.03}) mm	2×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		18	10 ^{+0.05} ₀ mm	3	超差 0.01mm 扣 1 分		
		19	R12mm 圆弧曲面	3×2	超差一处扣 3 分		
		20	Ra3.2μm	2	超差一处扣 1 分		
		21	工件轮廓形状完整	2	不完整一处扣 2 分		
	孔 (7)	22	φ24H8 (镗孔)	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		23	Ra1.6μm	2	超差全扣		
		24	工件轮廓形状完整	1	不完整一处扣 2 分		
	其他 (6)	25	工件按时完成	2	未按时完成全扣		
		26	工件无过切等缺陷	2	缺陷一处扣 2 分		
		27	工件去毛倒棱 C 0.3mm	2	酌情扣 0~2 分		

(续)

工件编号			总得分			
项目与配分	序号	技术要求	配分	评分标准	检测记录	得分
程序与工艺 (倒扣分)	28	程序正确合理	倒扣	每错一处扣 1 分		
	29	加工工艺正确	倒扣	不合理每处扣 2 分		
机床操作 (倒扣分)	30	机床操作规范	倒扣	出错一次扣 2 分		
	31	工件、刀具装夹规范	倒扣	出错一次扣 2 分		
安全文明生产 (倒扣分)	32	安全操作	倒扣	因安全事故停止操作		
	33	整理机床	倒扣	可酌情扣 5 ~ 30 分		

三、相关知识

当前，随着数控机床、数控加工刀具及刀材料、高速切削工艺技术的飞速发展，高速切削技术不再是高、精、尖的技术，已运用于数控加工的各个领域，即使是一些中、小企业，也已开始运用高速切削加工技术进行各种零件的加工。例如，模具企业已广泛采用精雕机进行曲面的精加工，其转速可达到 10000 ~ 30000r/min，进给速度也已达到 2000 ~ 4000mm/min，其加工表面质量可达 $Ra1.6\mu m$ 。

1. 高速切削的特点

高速切削是指其切削速度和进给速度是常规切削速度和进给速度 5 ~ 20 倍的一种切削加工技术。实践证明，当切削速度和进给速度提高 10 倍后，其切削机理发生了根本的变化，使切削过程中的单位功率金属切除率提高 30% ~ 40%，切削力则降低 30%，刀具的切削寿命提高 70%，切削热大大降低，切削振动几乎消失，从而使切削加工发生了质的飞跃。因此，高速切削加工技术在薄壁零件、对温度敏感的零件和难加工材料零件的加工中得到了广泛的运用。

采用高速切削技术时，分别根据切削加工方式和加工材料规定的切削速度范围见表 21-2。

表 21-2 高速切削的速度范围 (单位: mm/min)

工件材料	切削速度范围	工艺方法	切削速度范围
钢件	380 以上	车削	700 ~ 7000
铸铁	700 以上	铣削	300 ~ 6000
铜材	1000 以上	钻削	200 ~ 1100
铝材	1100 以上	磨削	150 ~ 360
塑料	1150 以上		

2. 高速切削的关键技术

高速切削技术是新材料技术、计算机技术、控制技术和精密制造技术等多项新



技术综合应用发展的结果。因此,高速切削主要包括高速切削机理、高速切削刀具、高速切削机床、高速切削工艺技术、高速加工的测量等关键技术。

(1) 高速切削机理 通过高速加工过程中切屑形成机理、切削力、切削热、刀具磨损、表面质量等技术的研究,为开发高速机床、高速加工刀具提供了理论指导。例如,图 21-2 所示的“切削速度与切削温度关系的实验曲线和推论曲线”为实现高速切削提供了理论依据。

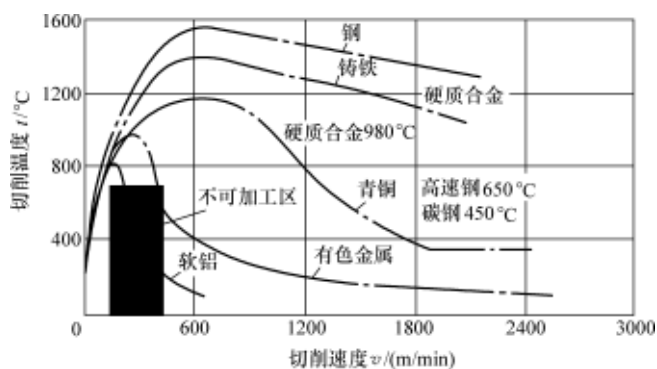


图 21-2 切削速度与切削温度关系的实验曲线和推论曲线

(2) 高速切削刀具 高速切削刀具技术是实现高速加工的关键技术之一。高速铣削刀具必须具备可靠的安全性和较长的使用寿命。

高速切削刀具的安全性必须考虑刀具强度、刀具夹持、刀片压紧、刀具动平衡等因素。

高速切削刀具的寿命必须考虑刀具材料、刀尖结构、切削用量、进给方式、冷却条件等因素。高速铣削刀具材料主要有硬质合金、涂层刀具、金属陶瓷、陶瓷、立方氮化硼(CBN)和金刚石刀具。

当机床最高转速达到 15000r/min 时,通常需要采用图 21-3 所示高速铣刀刀杆(HSK)或其他种类的短柄刀杆装夹刀具。HSK 的柄部为 1:10 的锥度,采用过定位方式与机床的主轴进行连接,在机床拉力作用下,保证刀杆短锥和端面与机床的紧密配合。

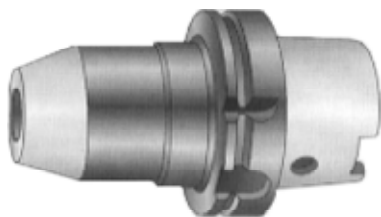


图 21-3 高速铣刀刀杆

刀杆通常采用侧固式、弹性夹紧式、液压夹紧式和热膨胀式等方式夹紧刀具。但由于侧固式难以保证刀具动平衡,因此在高速铣削时不宜采用,而采用如图 21-4 所示的弹性夹紧式、液压夹紧式和热膨胀式来夹紧刀具。其中热膨胀式结构简单,夹紧可靠,同心度高,传递扭矩和径向力大,刚性足,动平衡性好,是目前最具发展潜力的刀杆结构。

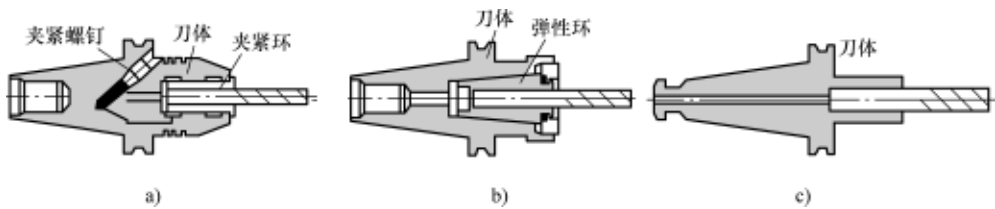


图 21-4 高速铣削刀具夹紧方式

a) 液压夹紧式 b) 弹性夹紧式 c) 热膨胀式

(3) 高速切削机床 高速机床是实现高速加工的前提和基本条件,在现代机床制造业中,机床高速化是一个必然的发展趋势。高速机床技术主要包括以下几个方面:

1) 机床的床身结构。机床的基本结构有床身、底座和立柱等,高速切削会产生很大的附加惯性力,因而机床床身、立柱等必须具有足够的强度、刚度和高水平的阻尼特性。提高机床刚性的另一个措施是改革床体结构,如将立柱和底座合为一个整体,使得机床可以依靠自身的刚性来保持机床精度。

2) 高速主轴。高速主轴的性能要求为高转速和高调速范围、足够的刚性和较高的回转精度、良好的热稳定性、大功率、可靠的工具装夹性能、先进的润滑和冷却系统、可靠的主轴监测系统。

3) 高速进给机构。目前高速切削进给速度已高达 $50 \sim 120\text{m/min}$,要实现并准确控制这样高的进给速度,对机床导轨、滚珠丝杠、伺服系统、工作台结构等提出了新的要求。而且,由于机床上直线运动行程一般较短,高速加工机床必须实现较高的进给加减速才有意义。

4) 高速 CNC 控制系统。数控高速切削加工要求 CNC 控制系统具有快速数据处理能力和高的功能化特性,以保证在高速切削时(特别是在 4~5 轴坐标联动加工复杂曲面时)仍具有良好的加工性能。

5) 高速切削机床安全防护。高速切削的速度相当高,当主轴转速达 40000r/min 时,若有刀片崩裂,掉下来的刀具碎片就像出膛的子弹,因此,对高速切削引起的安全问题必须充分重视。

(4) 高速切削的工艺技术 在高速切削过程中,如果切削方法选择不当,会使刀具的磨损加剧,完全达不到高速加工的目的。高速切削的工艺技术包括切削方法和切削参数的合理选择。

(5) 高速加工的测量技术 高速切削过程中,操作人员无法直接进行观察、操作和控制。因此,机床本身必须对加工情况、刀具磨损情况和工件加工过程进行在线监测。当前,主轴发热测试、滚珠丝杠发热测试、刀具磨损实时监测、工件加工状态监测等在线测试技术在高速机床上的运用已越来越广。

四、零件加工

1. 加工难点分析

(1) 反面月牙形轮廓的加工 编程时首先将坐标旋转 45°, 再采用宏程序方式进行编程, 编程思路如图 21-5 所示(图中的 R 为月牙形轮廓的圆弧半径, r 为球头刀的球头半径), 以角度作为自变量, 球头刀球心的坐标作为应变量, 编程过程中使用以下变量进行运算:

- #100: 月牙形轮廓圆弧包角之半, 初始值为 62°。
- #1: 球头刀球心的 X 坐标, #1 = $(R - r) * \sin(\#100)$ 。
- #2: 球头刀球心的 Z 坐标, #2 = $6 - (R - r) * \cos(\#100)$ 。
- #3: 球头刀刀位点的 X 坐标, #3 = #1。
- #4: 球头刀刀位点的 Z 坐标, #4 = #2 - r 。

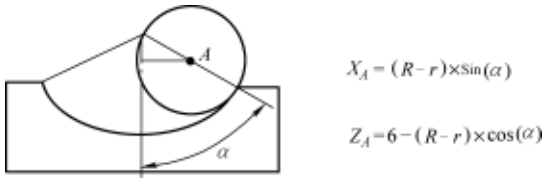


图 21-5 局部基点坐标

(2) 正面轮廓加工 正面轮廓加工时, 外轮廓需采用坐标旋转的方式进行编程。对于 4 个相同的轮廓, 可采用子程序方式编写单个轮廓的加工程序, 再采用坐标旋转方式加工 4 个相同的内轮廓, 坐标旋转时, 须与加工外轮廓的坐标旋转角度叠加。

2. 参考程序

本例工件的参考程序见表 21-3。

表 21-3 职业技能鉴定样例 21 参考程序

FANUC Oi 系统程序	SIEMENS 802D 系统程序	程序说明
O0211;	AA211. MPF	月牙形轮廓精加工程序
G90 G94 G21 G40 G54 F500;	G90 G94 G71 G40 G54 F500	程序初始化
G91 G28 Z0;	G74 Z0	Z 向返回参考点
M03 S1500;	T1D1 M03 S1500	选用 $\phi 6\text{mm}$ 球头刀
G68 X0 Y0 R45.0;	ROT RPL=45.0	坐标旋转
G90 G00 X0 Y54.0 M08;	G00 X0 Y54.0 M08	刀具定位
Z10.0;	Z10.0	

(续)

FANUC Oi 系统程序	SIEMENS 802D 系统程序	程序说明
#5 = 8. 0;	R5 = 8. 0	刀具前后移动量
N100 #100 = 62. 0;	MA1: R100 = 62. 0	角度参数
#1 = 6 * sin [#100];	R1 = 6 * sin (R100)	球心的 X 坐标
#2 = 6 - 6 * cos [#100];	R2 = 6 - 6 * cos (R100)	球心的 Z 坐标
#3 = #1;	R3 = R1	刀位点的 X 坐标
#4 = #2 - 6. 0;	R4 = R2 - 6. 0	刀位点的 Z 坐标
G00 X#3 Z#4;	G00 X = R3 Z = R4	刀具 XZ 平面定位
#5 = - #5;	R5 = - R5	刀具前后移动加工 曲面
G01Y [#5 + 39. 5];	G01Y = R5 + 39. 5	
#100 = #100 - 1. 0;	R100 = R100 - 1. 0	
IF [#100 GE - 62. 0] GOTO 100;	IF R100 > = 8. 0 GOTOB MA1	
G00 Z20. 0;	G00 Z20. 0	取消坐标旋转
G69;	ROT	
G91 G28 Z0 M09;	G74 Z0 M09	程序结束部分
M05;	M05	
M30;	M02	
O0212;	AA212. MPF	正面内轮廓加工主 程序
G90 G94 G21 G40 G54 F500;	G90 G94 G71 G40 G54 F500	程序初始化
G91 G28 Z0;	G74 Z0	
M03 S1500;	T1D1 M03 S1500	
G90 G00 X0 Y0 M08;	G00 X0 Y0 M08	刀具定位
Z10. 0;	Z10. 0	
G68 X0 Y0 R45. 0;	ROT RPL = 45. 0	加工第一个内轮廓
M98 P225;	BB225	
G69;		
G68 X0 Y0 R135. 0;	AROT RPL = 90. 0	加工第二个内轮廓
M98 P225;	BB225	
G69;		
G68 X0 Y0 R225. 0;	AROT RPL = 90. 0	加工第三个内轮廓
M98 P225;	BB225	
G69;		



(续)

FANUC Oi 系统程序	SIEMENS 802D 系统程序	程序说明
G68 X0 Y0 R315.0;	AROT RPL = 90.0	加工第四个内轮廓
M98 P225;	BB225	
G69;	AROT	
G91 G28 Z0 M09;	G74 Z0 M09	程序结束部分
M05;	M05	
M30;	M02	

请读者自行编写单个内轮廓加工的子程序。



二、加工准备与加工要求

1. 加工准备

本样例选择 TK7650 型 FANUC 0i 系统或 SIEMENS 802D 数控铣床或加工中心进行加工,编程方式采用手工编程,换刀方式采用手动换刀。

加工中使用的刀具、量具和工具参照表 1-1 进行配置,零件毛坯参照图 14-2 进行配置。

2. 加工要求

本样例的工时定额(包括编程与手动输入程序)为 4h,其加工要求见表 22-1。

表 22-1 职业技能鉴定样例 22 评分表

工件编号				总得分			
项目与配分		序号	技术要求	配分	评分标准	检测记录	得分
工件加工评分 (100)	正面 外形 轮廓 (56)	1	$88 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.03 \end{smallmatrix} \text{mm}$	3×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		2	$64 \begin{smallmatrix} +0.03 \\ 0 \end{smallmatrix} \text{mm}$	3×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		3	$72 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.03 \end{smallmatrix} \text{mm}$	3×3	超差 0.01mm 扣 1 分		
		4	$40 \begin{smallmatrix} +0.03 \\ 0 \end{smallmatrix} \text{mm}$	2×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		5	$16 \begin{smallmatrix} +0.03 \\ 0 \end{smallmatrix} \text{mm}$	2×4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		6	$7 \begin{smallmatrix} +0.05 \\ 0 \end{smallmatrix} \text{mm}$	2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		7	$8 \begin{smallmatrix} +0.05 \\ 0 \end{smallmatrix} \text{mm}$	2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		8	平行度 0.05mm	3×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		9	(20±0.10) mm	3	超差 0.02mm 扣 1 分		
		10	Ra3.2μm	4	超差一处扣 1 分		
		11	R5mm、R8mm 等	2	超差一处扣 1 分		
		12	工件轮廓形状完整	4	不完整一处扣 2 分		
	反面 轮廓 (21)	13	$70 \begin{smallmatrix} +0.06 \\ +0.03 \end{smallmatrix} \text{mm}$	3×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		14	$50 \begin{smallmatrix} +0.06 \\ +0.03 \end{smallmatrix} \text{mm}$	3	超差 0.01mm 扣 1 分		
		15	$\phi 32 \begin{smallmatrix} +0.03 \\ 0 \end{smallmatrix} \text{mm}$	3	超差 0.01mm 扣 1 分		
		16	$7 \begin{smallmatrix} +0.05 \\ 0 \end{smallmatrix} \text{mm}$	3	超差 0.01mm 扣 1 分		
		17	R8mm、R18mm 等	2	超差一处扣 3 分		
		18	Ra3.2μm	2	超差一处扣 1 分		
		19	工件轮廓形状完整	2	不完整一处扣 2 分		
	孔 (17)	20	φ10H8	2×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		21	(70±0.03) mm	3	超差 0.01mm 扣 1 分		
		22	Ra1.6μm	2×2	超差一处扣 2 分		

(续)

工件编号				总得分			
项目与配分		序号	技术要求	配分	评分标准	检测记录	得分
工件加工评分 (100)	孔 (17)	23	M24×2	4	超差全扣		
		24	工件轮廓形状完整	2	不完整一处扣2分		
	其他 (6)	25	工件按时完成	2	未按时完成全扣		
		26	工件无过切等缺陷	2	缺陷一处扣2分		
		27	工件去毛倒棱 0.3mm	2	酌情扣0~2分		
程序与工艺 (倒扣分)		28	程序正确合理	倒扣	每错一处扣1分		
		29	加工工艺正确	倒扣	不合理每处扣2分		
机床操作 (倒扣分)		30	机床操作规范	倒扣	出错一次扣2分		
		31	工件、刀具装夹规范	倒扣	出错一次扣2分		
安全文明生产 (倒扣分)		32	安全操作	倒扣	因安全事故停止操作可 酌情扣5~30分		
		33	机床整理	倒扣			

三、相关知识【程序报警解除方法】

程序报警主要是由程序出错造成的，消除这些报警时，通常无需修改系统参数，只需按下 MDI 功能键“RESET”即可。操作者可根据报警号来了解报警原因。数控程序报警的种类很多，现将这些报警节选后列于表 22-2 中，供读者参考。

表 22-2 数控铣床/加工中心常见程序报警

序号	屏幕信息		报警内容分析
	英文	汉文	
000	PLEASE TURN OFF POWER	请关电源	参数输入后必须关闭电源
003	TOO MANY DIGITS	数字位太多	输入了超过允许位数的数据 (参见最大指令值一项)
004	ADDRESS NOT FOUND	地址没找到	在程序段的开始无地址，而输入了数字或符号“-”
005	NO DATA AFTER ADDRESS	地址后面无数据	地址后面无适当数据，而是另一地址或 EOB 代码
006	ILLEGAL USE OF NEGATIVE SIGN	非法使用负号	符号“-”输入错误(在不能使用负号的地址后输入了“-”符号或输入了两个或多个“-”符号)



(续)

序号	屏幕信息		报警内容分析
	英文	汉文	
007	ILLEGAL USE OF DECIMAL POINT	非法使用小数点	小数点“.”输入错误(在不允许使用的地址中输入了“.”符号,或输入了两个或多个“.”符号)
009	ILLEGAL ADDRESS INPUT	输入非法地址	在有效信息区输入了不能使用的字符
010	IMPROPER G-CODE	不正确的 G 代码	使用了不能使用的 G 代码或指令了无此功能的 G 代码
011	NO FEEDRATE COMMANDED	无进给速度指令	在切削进给中未指令进给速度或进给速度不当
020	OVER TOLERANCE OF RADIUS	超出半位公差	在圆弧插补(G02 或 G03)中,起始点与圆弧中心的距离不同于终点与圆弧中心的距离
021	ILLEGAL PLANE AXES COMMANDED	指令了非法平面轴	在圆弧插补中,指令了不在所选平面内(用 G17、G18、G19)的轴
022	NO CIRCLE RADIUS	没有圆弧半径	在圆弧插补中,不管是 R(指定圆弧半径),还是 I、J 和 K(指定从起始点到中心的距离),都没有被指令
027	NO AXES COMMANDED IN G43/G44	在 G43/G44 中没有轴指令	在刀具长度补偿 C 的程序段 G43 和 G44 中,没有指定轴地址,补偿未被取消,但另一轴加了刀具长度补偿 C
028	ILLEGAL PLANE SELECT	非法的平面选择	在平面选择指令中,同一方向上指令了两个或更多的轴
029	ILLEGAL OFFSET VALUE	非法偏置值	由 H 代码指定的补偿值太大
030	ILLEGAL OFFSET NUMBER	非法补偿号	由 D/H 代码指定的刀具长度补偿号或刀具半径补偿号太大,由 P 代码指定的工件坐标系号也太大

(续)

序号	屏幕信息		报警内容分析
	英文	汉文	
034	NO CIRC ALLOWED IN ST - UP/EXTBLK	圆弧指令时不能起刀或取消刀补	刀具半径补偿时, G02 和 G03 方式不允许起刀或取消刀补
038	INTERFERENCE IN CIR- CULAR BLOCK	在圆弧程序段中的干涉	在刀具长度补偿 C 中, 将出现过切, 因为弧开始点或终止点与弧中心一致
044	G27 ~ G30 NOT AL- LOWED IN FIXED CYC (M series)	在固定方式中, 指令了 G27 ~ G30	在固定方式中, 指令了 G27 ~ G30
046	ILLEGAL REFERENCE RETURN COMMAND	非法的参考点返回指令	在对第二、第三、第四参考点返回的指令中, 指令了 P2、P3 和 P4 之外的指令
050	CHF/CNR NOT AL- LOWED IN THRD BLK	螺纹切削中指令了倒角、拐角半径	在螺纹切削程序段, 指令了任意角度的倒角、拐角半径
052	CODE IS NOT G01 AF- TER CHF/CNR	倒角、拐角程序段的下一个程序段, 不是 G01 的程序段	指令了任意角度的倒角、拐角半径的程序段的下一个程序段, 不是 G01、G02、G03 的程序段
053	TOO MANY ADDRESS COMMANDS	太多的地址指令	
056	NO END POINT&ANGLE IN CHF/CNR	在 CHF/CNR 中, 没有结束点和角度	只指定角度的下一程序段, 没有指定角度或终点
058	END POINT NOT FOUND	未发现终点	在任意倒角或拐角半径的程序段中, 指定轴不在所选择的平面内
059	PROGRAM NUMBER NOT FOUND	未发现程序号	在外部程序号检索中, 未发现程序号
060	SEQUENCE NUMBER NO FOUND	未发现顺序号	在顺序号搜寻中未发现指令的顺序号
070	NO PROGRAM SPACE IN MEMORY	存储器中无程序空间	存储区容量不够用, 删除不必要的程序, 然后再试



(续)

序号	屏幕信息		报警内容分析
	英文	汉文	
071	DATA NOT FOUND	没有发现数据	未找到所检索的地址,或者在程序号检索中,未找到用程序号指定的程序
072	TOO MANY PROGRAMS	程序太多	所存储的程序数超过了 200 个
073	PROGRAM NUMBER ALREADY IN USE	程序号已被使用	指令的程序号已被使用
074	ILLEGAL PROGRAM NUMBER	非法程序号	程序号在 1~9999 之外
075	PROTECT	保护	想要存储的程序号已被保护
076	ADDRESS P NOT DEFINED	没有定义地址 P	在 M98、G65 或 G66 的程序段中没有指令地址 P
077	SUB PROGRAM NESTING ERROR	子程序嵌套错误	子程序调用超过了 5 重
078	NUMBER NOT FOUND	没有找到程序号	在包含 M98、M99、G65 或 G66 的程序段中未找到由地址 P 指定的程序号或顺序号、由 GO TO 语句指定的顺序号未找到,或调用了正在被后台编程的程序
090	REFERENCE RETURN INCOMPLETE	没有完成参考点返回	由于返回参考位置的起点太靠近参考点或速度太慢,所以不能正常执行参考点返回
091	REFERENCE RETURN INCOMPLETE	没有完成参考点返回	在自动操作暂停状态,不能执行手动参考点返回
092	AXES NOT ON THE REFERENCE POINT	轴不在参考点	G27(参考点返回检测)指令的轴不能返回到参考点
094	P TYPE NOT ALLOWED	不允许 P 类型	程序再启动时,不能指定 P 型(在自动操作被中断后,执行坐标系设定操作)
098	G28 FOUND IN SEQUENCE RETURN	在顺序返回中发现 G28	电源接通或急停之后,未执行参考点返回操作,就指定了程序再启动指令,并且,检索期间找到了 G28

(续)

序号	屏幕信息		报警内容分析
	英文	汉文	
100	PARAMETER WRITE ENABLE	参数写允许	在“PARAMETER (SETTING)”画面, PWI (参数写入允许) 设定为 1, 将它设定为 0, 然后复位系统
110	DATA OVER FLOW	绝对值超过了允许范围	固定小数点显示的数据的绝对值超过了允许范围
114	FORMAT ERROR IN MACRO	宏程序中格式错误	宏程序 (公式) 的格式中有错误
115	ILLEGAL VARIABLE NUMBER	非法变量号	在用户宏程序或高速循环切削中, 将不能指定的值指定为变量号
116	WRITE PROTECTED VARIABLE	写保护变量	赋值语句的左侧是一个不允许的变量
118	PARENTHESIS NESTING ERROR	括号嵌套错误	括号的嵌套数超过了上限值 (5 重)
119	ILLEGAL ARGUMENT	非法自变量	SQRT 自变量为负, BCD 自变量为负, 或在 BIN 自变量各行出现了 0 ~ 9 以外的值
123	CAN NOT USE MACRO COMMAND IN DNC	DNC 中不能使用宏指令	在 DNC 操作期间使用了宏程序控制指令
124	ILLEGAL LOOP NUMBER	缺少结束语句	DO—END 不是 1: 1 地对应
125	FORMAT ERROR IN MACRO	宏程序公式中格式错误	<Formula> 格式错误
141	CAN NOT COMMAND G51 IN CRC	比例缩放有效时不能指令 G51	刀具补偿方式中指令了 G51 (比例缩放有效)
142	ILLEGAL SCALE RATE	指令的比例缩放倍率值错	指令的比例缩放倍率值在 1 ~ 999999 之外 (修正 G51 或参数 5411、5412)
143	SCALED MOTION DATA OVER FLOW	超过了最大指令值	比例缩放的结果、移动量、坐标值、圆弧半径等超过了最大指令值
144	ILLEGAL PLANE SELECTED	选择了非法平面	坐标旋转平面与圆弧或刀具补偿 C 平面必须一致
153	T-CODE NOT FOUND	没有发现 T 代码	在刀具寿命寄存器中, 未存储指令的 T 代码
155	ILLEGAL T-CODE IN M06	在 M06 中的非法 T 代码	在加工程序中, 在同一程序段的 M06 和 T 代码与使用中的组不对应
200	ILLEGAL S-CODE COMMAND	非法 S 代码指令	在刚性攻螺纹中, S 值在范围以外或未被指定。在刚性攻螺纹中 S 的最大值用参数 5241 ~ 5243 设定
201	FEEDRATE NOT FOUND IN RIGID TAP	刚性攻螺纹中没有发现进给速度	在刚性攻螺纹中, 未指定 F 值
203	PROGRAM ERROR AT RIGID TAPPING	刚性攻螺纹时程序错误	刚性攻螺纹中, 用于刚性定位的 M 代码 (M29) 或 S 指令不正确

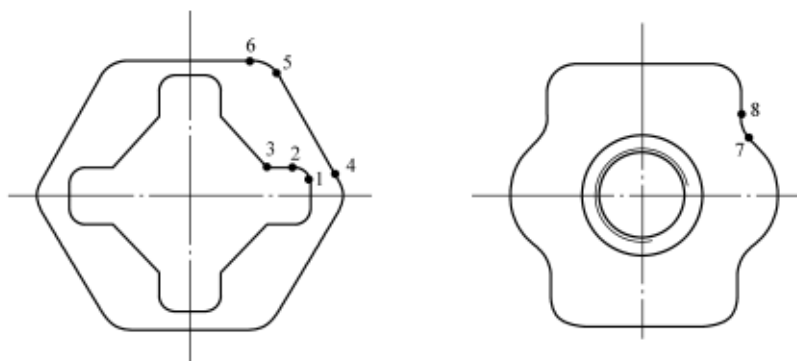
(续)

序号	屏幕信息		报警内容分析
	英文	汉文	
206	CAN NOT CHANGE PLANE (RIGID TAP)	不能改变平面 (刚性 攻螺纹)	在刚性方式中指令了平面的切换
224	RETURN TO REFERENCE POINT	返回参考点	在循环启动之前没有返回到参考点
5073	NO DECIMAL POINT	没有小数点	对于必须定义小数点的指令没有指令小数点
5074	ADDRESS DUPLICATION ERROR	地址重复错误	在一个程序段中两次或多次指令了同一地址, 或者, 在一个程序段中指令了两个或多个同一组的 G 代码
5257	G41/G42 NOT ALLOWED IN MDI MODE	MDI 方式中不允许 G41/G42	在 MDI 方式中指定了 G41/G42 (刀具半径补偿)

四、零件加工

1. 基点坐标计算

本例工件选择 Mastercam 软件或 CAXA 制造工程师软件进行基点坐标分析, 得出的局部基点坐标如图 22-2 所示。



局部基点坐标:

1 (31.80, 3.56), 2 (26.83, 8.0), 3 (20.28, 8.0)
4 (39.26, 4.0), 5 (23.09, 32.0), 6 (16.17, 36.0)
7 (28.08, 14.19), 8 (25.0, 20.49)

图 22-2 局部基点坐标

2. 参考程序

本例工件的参考程序见表 22-3。

表 22-3 职业技能鉴定样例 22 参考程序

FANUC Oi 系统程序	SIEMENS 802D 系统程序	程序说明
O0221;	AA221. MPF	正面内轮廓加工 程序
G90 G94 G21 G40 G54 F500;	G90 G94 G71 G40 G54 F500	程序初始化
G91 G28 Z0;	G74 Z0	Z 向返回参考点
M03 S1500;	T1D1 M03 S1500	主轴正转，转速为 1500r/min
G90 G00 X0 Y-25.0 M08;	G00 X0 Y-25.0 M08	刀具定位
Z20.0;	Z20.0	
G01 Z0;	G01 Z0	
G41 G01 X0 Y-16.0 D01;	G41 G01 X0 Y-16.0	螺旋线下刀加工圆 柱体
G02 J16.0 Z-3.5;	G02 J16.0 Z-3.5	
G02 J16.0 Z-7.0;	G02 J16.0 Z-7.0	
G02 J16.0;	G02 J16.0	
G40 G01 Y-25.0;	G40 G01 Y-25.0	加工内轮廓
G41 G01 X-25.0 Y-18.0 D01	G41 G01 X-25.0 Y-18.0	
G01 Y-27.0;	G01 Y-27.0	
G03 X-17.0 Y-35.0 R8.0	G03 X-17.0 Y-35.0 CR=8.0	
G01 X17.0;	G01 X17.0	
G03 X25.0 Y-27.0 R8.0;	G03 X25.0 Y-27.0 CR=8.0	
G01 Y-20.49;	G01 Y-20.49	
G02 X28.08 Y-14.19 R8.0;	G02 X28.08 Y-14.19 CR=8.0	
G03 Y14.19 R18.0;	G03 Y14.19 CR=18.0	
G02 X25.0 Y20.49 R8.0;	G02 X25.0 Y20.49 CR=8.0	
G01 Y27.0;	G01 Y27.0	
G03 X17.0 Y35.0 R8.0;	G03 X17.0 Y35.0 CR=8.0	
G01 X-17.0;	G01 X-17.0	
G03 X-25.0 Y27.0 R8.0;	G03 X-25.0 Y27.0 CR=8.0	
G01 Y20.49;	G01 Y20.49	
G02 X-28.08 Y14.19 R8.0;	G02 X-28.08 Y14.19 CR=8.0	
G03 Y-14.19 R18.0;	G03 Y-14.19 CR=18.0	
G02 X-25.0 Y-20.49 R8.0;	G02 X-25.0 Y-20.49 CR=8.0	
G40 G01 X0 Y-25.0;	G40 G01 X0 Y-25.0	
G91 G28 Z0 M09;	G74 Z0 M09	程序结束部分
M05;	M05	
M30;	M02	

考核目标

- ◆ 自动编程简介；
- ◆ 自动编程软件选择技巧；
- ◆ 型腔加工自动编程；
- ◆ 轮廓加工自动编程。

一、考核要求

加工图 23-1 所示零件（坯件尺寸为 $90\text{mm} \times 90\text{mm} \times 21\text{mm}$ ），试分析其加工工艺并编写其数控铣加工程序。

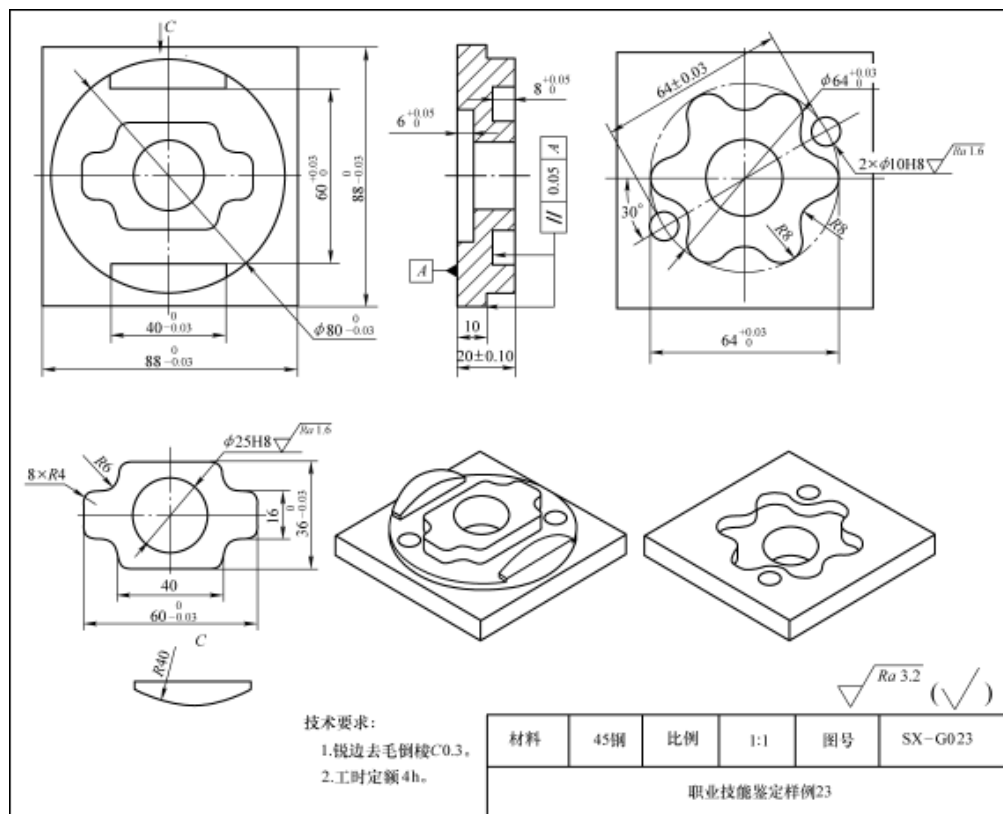


图 23-1 职业技能鉴定样例 23

二、加工准备与加工要求

1. 加工准备

本样例选择 TK7650 型 FANUC 0i 系统或 SIEMENS 802D 数控铣床或加工中心进行加工，编程方式采用手工编程，换刀方式采用手动换刀。

加工中使用的刀具、量具和工具参照表 1-1 进行配置，零件毛坯参照图 14-2 进行配置。

2. 加工要求

本样例的工时定额（包括编程与手动输入程序）为 4h，其加工要求见表 23-1。

表 23-1 职业技能鉴定样例 23 评分表

工件编号				总得分			
项目与配分		序号	技术要求	配分	评分标准	检测记录	得分
工件 加工 评分 (100)	正面 外形 轮廓 (60)	1	$88 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.03 \end{smallmatrix} \text{mm}$	4 × 2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		2	$40 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.03 \end{smallmatrix} \text{mm}$	4 × 2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		3	$60 \begin{smallmatrix} +0.03 \\ 0 \end{smallmatrix} \text{mm}$	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		4	$\phi 80 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.03 \end{smallmatrix} \text{mm}$	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		5	R40mm 曲面	4 × 2	超差一处扣 3 分		
		6	$60 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.03 \end{smallmatrix} \text{mm}$	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		7	$36 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.03 \end{smallmatrix} \text{mm}$	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		8	$8 \begin{smallmatrix} +0.05 \\ 0 \end{smallmatrix} \text{mm}$	3	超差 0.01mm 扣 1 分		
		9	平行度 0.05mm	3 × 2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		10	20 ± 0.10mm	3	超差 0.02mm 扣 1 分		
		11	Ra3. 2μm	3	超差一处扣 1 分		
		12	R4mm、R6mm、16mm 等	2	超差一处扣 1 分		
		13	工件轮廓形状完整	3	不完整一处扣 2 分		
	反面 轮廓 (15)	14	$\phi 64 \begin{smallmatrix} +0.03 \\ 0 \end{smallmatrix} \text{mm}$	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		15	圆弧光滑过渡	4	不光滑全扣		
		16	$6 \begin{smallmatrix} +0.05 \\ 0 \end{smallmatrix} \text{mm}$	3	超差 0.01mm 扣 1 分		
		17	Ra3. 2μm	2	超差一处扣 1 分		
		18	工件轮廓形状完整	2	不完整一处扣 2 分		
	孔 (19)	19	φ10H8	2 × 2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		20	(64 ± 0.03) mm	3	超差 0.01mm 扣 1 分		
		21	φ25H8 (镗孔)	4	超差全扣		
		22	Ra1. 6μm	2 × 3	超差一处扣 2 分		
		23	工件轮廓形状完整	2	不完整一处扣 2 分		
	其他 (6)	24	工件按时完成	2	未按时完成全扣		
		25	工件无过切等缺陷	2	缺陷一处扣 2 分		
		26	工件去毛倒棱 0.3mm	2	酌情扣 0 ~ 2 分		
程序与工艺 (倒扣分)		27	程序正确合理	倒扣	每错一处扣 1 分		
		28	加工工艺正确	倒扣	不合理每处扣 2 分		

(续)

工件编号			总得分			
项目与配分	序号	技术要求	配分	评分标准	检测记录	得分
机床操作 (倒扣分)	29	机床操作规范	倒扣	出错一次扣2分		
	30	工件、刀具装夹规范	倒扣	出错一次扣2分		
安全文明生产 (倒扣分)	31	安全操作	倒扣	因安全事故停止操作 可酌情扣5~30分		
	32	整理机床	倒扣			

三、相关知识

1. 自动编程简介

(1) 自动编程的定义与特点 自动编程又称为计算机辅助编程，它是指利用计算机(含外围设备)和相应的前置、后置处理程序，对零件源程序或几何造型进行处理，以得到加工程序和数控工艺文档的一种编程方法。

自动编程时，编程人员只需根据图样的要求，使用数控语言编写出零件加工源程序，送入计算机，由主计算机自动地进行数值计算、后置处理，编写出零件加工程序单，直至自动生成加工代码。

(2) 自动编程的种类 自动编程根据编程信息的输入与计算机对信息的处理方式不同，可分为以自动语言为基础的自动编程方式和以计算机绘图为基础的图形交互式编程方式。

以语言为基础的自动编程方法目前已不再使用，目前使用的自动编程方法均为图形交互式自动编程。这种自动编程方法通常利用 CAD/CAM 软件先将零件的几何图形绘制到计算机上，形成图形文件，然后调用数控编程模块，采用人机交互方式输入相应的加工工艺参数后，计算机即可自动生成加工程序。

(3) 图形交互式自动编程过程 目前市场上流行的 CAD/CAM 软件种类繁多，但不管是哪一种软件，其数控编程的过程却是基本类似的，具体过程如图 23-2 所示。

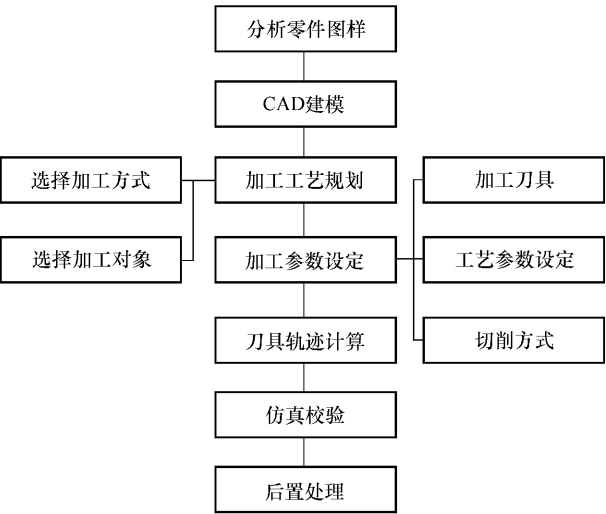


图 23-2 图形交互式编程过程

2. 自动编程软件介绍

自动编程软件种类很多，而且地区不同，使用的 CAD/CAM 软件也不尽相同。当前，在我国常用的 CAD/CAM 软件见表 23-2。

表 23-2 我国常用 CAD/CAM 软件简介

软件名称	研制公司	软件介绍	常用版本
UG (Unigraphics)	源于麦道飞机制造公司，由 EDS 公司开发	该软件是集成的 CAD/CAE/CAM 系统，是当前国际、国内最为流行的工业设计平台。其主要模块有数控造型、数控加工、产品装配等通用模块和计算机辅助工业设计、钣金设计加工、模具设计加工、管路设计布局等专用模块	UG18 UG NX6 UG NX8
Pro/Engineer	PTC (参数科技) 公司 (美国) 于 1989 年开发	该软件开创了三维 CAD/CAM 参数化的先河，采用单一数据库的设计，是基于特征、全参数、全相关性的 CAD/CAE/CAM 系统。该软件包含了零件造型、产品装配、NC 加工、模具开发、钣金件设计、外形设计、逆向工程、机构模拟、应力分析等功能模块	Pro/Engineer Wild-fire (野火版)
CATIA	由达索飞机制造公司 (法国) 开发	该软件是最早用于航空业的大型 CAD/CAE/CAM 软件，目前 60% 以上的航空业和汽车工业都使用该软件。该软件是最早实现曲面造型的软件，它开创了三维设计的新时代。目前 CATIA 系统已发展成为从产品设计、产品分析、NC 加工、装配和检验，到过程管理、虚拟动作等众多功能的大型软件	CATIA V5R15
Solidworks	由 Solidworks 公司 (美国) 开发	该软件具有极强的图形格式转换功能，几乎所有的 CAD/CAE/CAM 软件都可以与 Solidworks 软件进行数据转换，美中不足的是其数控加工功能不够强大。该软件具有产品设计、产品造型、产品装配、钣金设计、焊接及工程图等功能	Solidworks 2008 Solidworks 2012
Mastercam	由 CNC Software 公司 (美国) 开发	该软件是基于 PC 平台，集二维绘图、三维曲面设计、体素拼合、数控编程、刀具路径模拟及真实感模拟功能于一身的 CAD/CAM 软件，该软件尤其对于复杂曲面的生成与加工具有独到的优势，但其对零件的设计、模具的设计功能不强	Mastercam 9.0 Mastercam X6
Cimatron	由 Cimatron 公司 (以色列) 开发	该软件是一套集成 CAD/CAE/CAM 的专业软件，它具有模具设计、三维造型、生成工程图、数控加工等功能。该软件在我国得到了广泛的使用，特别是在数控加工方面更是占有很大的比重	Cimatron E12
CAXA 制造工程师	北航海尔软件有限公司 (中国)	该软件是我国自行研制开发的全中文、面向数控铣床与加工中心的三维 CAD/CAM 软件，它既具有线框造型、曲面造型和实体造型的设计功能，又具有生成二至五轴的加工代码的数控加工功能，可用于加工具有复杂三维曲面的零件	CAXA 制造工程师 2012 CAXA 线切割



3. 自动编程软件的选择

虽然以上的软件都能完成造型、生成刀具轨迹、后置处理等所有功能,但各种软件的特点却各不相同,例如 UG、Pro/E (Creo)、CATIA、Solidworks 较多使用在零件设计和实体造型的场合,而 Mastercam、Cimatron、CAXA 则较多使用在生成刀具轨迹和后置处理的场合。通常在 UG 等软件中完成零件实体造型,保存为“*.IGES”或“*.X_T”格式的文件,再转换成 Mastercam 等软件文件,进行生成刀具轨迹和后置处理的操作。

读者学习自动编程软件时,除了根据工作要求来选择外,还应根据当地软件的使用和普及情况来进行选择。另外,还要根据自身的特点选择所要学习的软件,UG、Pro/E 常用于工厂技术人员和工艺人员进行零件设计,而 Mastercam 等软件则常用于操作人员进行程序生成。

四、零件加工

1. 零件自动编程

本例工件涉及平面加工、轮廓加工、内型腔(挖槽)加工、曲面加工和孔加工等多种加工方式,以 Mastercam 软件为例,其轮廓加工自动编程方案如下:

(1) 型腔加工 型腔加工时,选择 2D 挖槽加工方式进行编程,先采用环切或平行切削方式去除型腔中的加工余量,再沿型腔内轮廓进行精加工,其加工轨迹如图 23-3a 所示,加工后的结果如图 23-3b 所示。

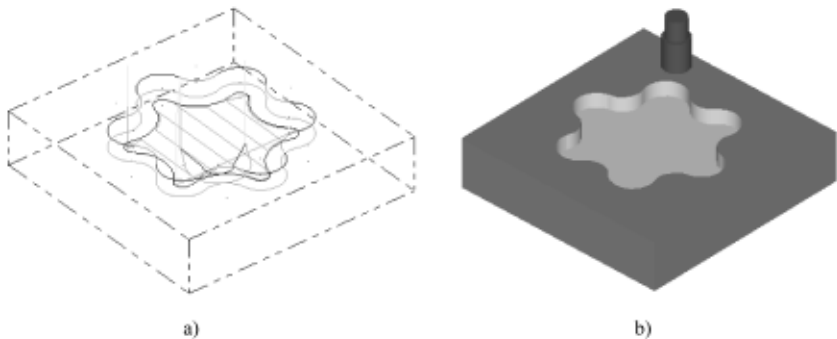


图 23-3 加工反面内型腔

a) 刀具轨迹图 b) 加工结果

(2) 外圆轮廓加工 加工正面外圆轮廓时,选择轮廓铣削作为加工方式,采用圆弧线方式切入与切出,在 XY 平面内采用分层铣削的加工方式,以去除加工余量。其加工轨迹如图 23-4a 所示,加工后的结果如图 23-4b 所示。

(3) 外形轮廓加工 加工正面外形轮廓时,仍选择轮廓铣削作为加工方式,采用圆弧线方式切入与切出,在 XY 平面内和 Z 向深度方向均采用一次粗加工和一

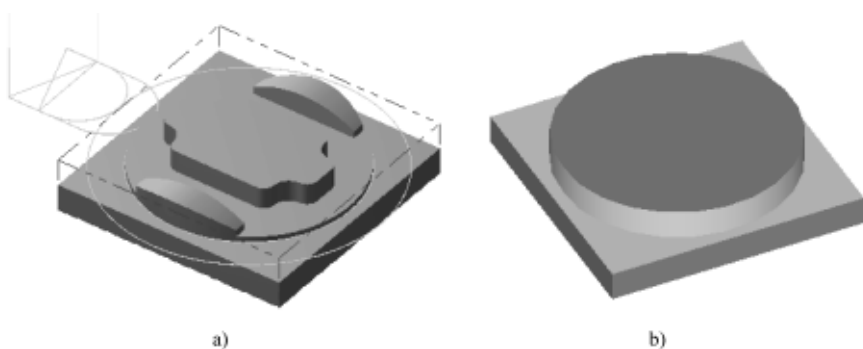


图 23-4 正面外圆加工
a) 刀具轨迹图 b) 加工结果

次精加工的加工方式。其加工轨迹如图 23-5a 所示，加工后的结果如图 23-5b 所示。

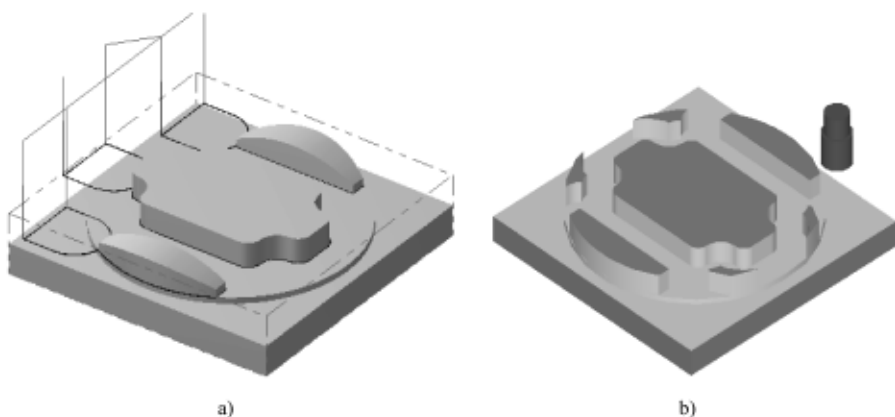


图 23-5 正面外轮廓加工
a) 刀具轨迹图 b) 加工结果

采用这种加工方式加工时，轮廓加工完毕后仍留有部分余量没有加工，解决方案为，沿余量位置画出两条如图 23-6a 所示两条辅助线，沿这两条辅助线再做一次轮廓加工，其加工结果 23-6b 所示。

(4) 曲面加工 加工正面外形轮廓的曲面时，采用平行铣削方式进行粗加工，再采用平行铣削方式进行精加工。粗、精加工过程中，应注意干涉面的合理选择。曲面精加工的加工轨迹如图 23-7a 所示，加工后的结果如图 23-7b 所示。

2. 局部加工程序

本例工件的采用自动编程方式编写的轮廓加工程序如下，请读者将该程序与手工编程方式编写的程序作比较，有什么区别与联系。

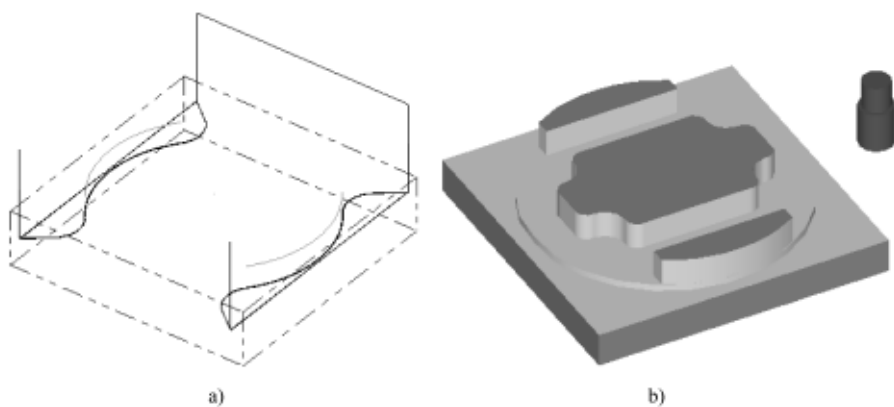


图 23-6 去除局部加工余量

a) 刀具轨迹图 b) 加工结果

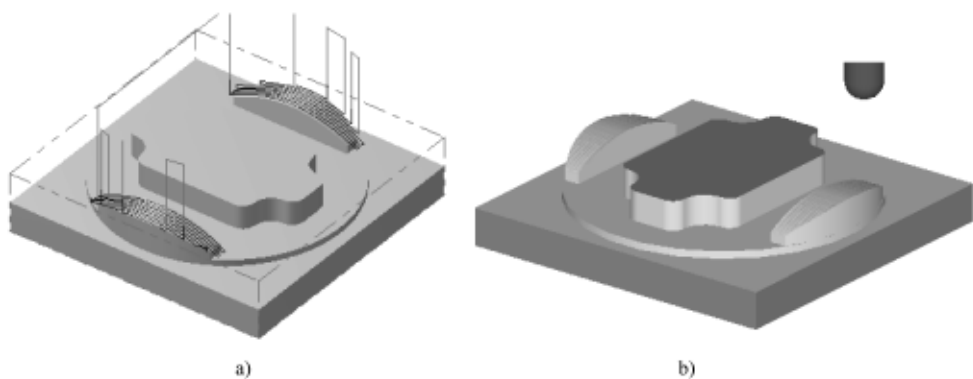


图 23-7 曲面精加工

a) 刀具轨迹图 b) 加工结果

%

O0000(23)

(DATE = DD - MM - YY - 07 - 09 - 12 TIME = HH : MM - 20 : 55)

(MCX FILE - C : \USERS\SJF\DESKTOP\23. MCX - 6)

(NC FILE - C : \USERS\SJF\DESKTOP\23. NC)

(MATERIAL - ALUMINUM MM - 2024)

(T2 | H2 | D2 | CONTROL COMP | TOOL DIA. - 10.)

N100 G21

N102 G0 G17 G40 G49 G80 G90

N104 T2 M6

N106 G0 G90 G54 X - 50.2 Y - 10. A0. S0 M5

N108 G43 H2 Z25.
N110 Z10.
N112 G1 Z-8. F0.
N114 G41 D2 X-40. 2
N116 G3 X-30. 2 Y0. I0. J10.
N118 G1 Y4.
N120 G2 X-26. Y8. 2 I4. 2 J0.
N122 G3 X-20. 2 Y14. I0. J5. 8
N124 G2 X-16. Y18. 2 I4. 2 J0.
N126 G1 X16.
N128 G2 X20. 2 Y14. I0. J-4. 2
N130 G3 X26. Y8. 2 I5. 8 J0.
N132 G2 X30. 2 Y4. I0. J-4. 2
N134 G1 Y-4.
N136 G2 X26. Y-8. 2 I-4. 2 J0.
N138 G3 X20. 2 Y-14. I0. J-5. 8
N140 G2 X16. Y-18. 2 I-4. 2 J0.
N142 G1 X-16.
N144 G2 X-20. 2 Y-14. I0. J4. 2
N146 G3 X-26. Y-8. 2 I-5. 8 J0.
N148 G2 X-30. 2 Y-4. I0. J4. 2
N150 G1 Y0.
N152 G3 X-40. 2 Y10. I-10. J0.
N154 G1 G40 X-50. 2
N156 X-50. Y-10.
N158 G41 D2 X-40.
N160 G3 X-30. Y0. I0. J10.
N162 G1 Y4.
N164 G2 X-26. Y8. I4. J0.
N166 G3 X-20. Y14. I0. J6.
N168 G2 X-16. Y18. I4. J0.
N170 G1 X16.
N172 G2 X20. Y14. I0. J-4.
N174 G3 X26. Y8. I6. J0.
N176 G2 X30. Y4. I0. J-4.
N178 G1 Y-4.
N180 G2 X26. Y-8. I-4. J0.
N182 G3 X20. Y-14. I0. J-6.
N184 G2 X16. Y-18. I-4. J0.



N186 G1 X-16.
N188 G2 X-20. Y-14. I0. J4.
N190 G3 X-26. Y-8. I-6. J0.
N192 G2 X-30. Y-4. I0. J4.
N194 G1 Y0.
N196 G3 X-40. Y10. I-10. J0.
N198 G1 G40 X-50.
N200 G0 Z17.
N202 Z25.
N204 X-40.2 Y22.321
N206 Z10.
N208 G1 Z-8.
N210 G41 D2 X-30.2
N212 G3 X-20.2 Y32.321 I0. J10.
N214 G1 Y34.641
N216 G2 X-20.1 Y34.814 I.2 J0.
N218 X0. Y40.2 I20.1 J-34.814
N220 X20.1 Y34.814 I0. J-40.2
N222 X20.2 Y34.641 I-.1 J-.173
N224 G1 Y30.
N226 G2 X20. Y29.8 I-.2 J0.
N228 G1 X-20.
N230 G2 X-20.2 Y30. I0. J.2
N232 G1 Y32.321
N234 G3 X-30.2 Y42.321 I-10. J0.
N236 G1 G40 X-40.2
N238 X-40. Y22.321
N240 G41 D2 X-30.
N242 G3 X-20. Y32.321 I0. J10.
N244 G1 Y34.641
N246 G2 X0. Y40. I20. J-34.641
N248 X20. Y34.641 I0. J-40.
N250 G1 Y30.
N252 X-20.
N254 Y32.321
N256 G3 X-30. Y42.321 I-10. J0.
N258 G1 G40 X-40.
N260 G0 Z17.
N262 Z25.

N264 X - 40. 2 Y - 42. 321
N266 Z10.
N268 G1 Z - 8.
N270 G41 D2 X - 30. 2
N272 G3 X - 20. 2 Y - 32. 321 I0. J10.
N274 G1 Y - 30.
N276 G2 X - 20. Y - 29. 8 I. 2 J0.
N278 G1 X20.
N280 G2 X20. 2 Y - 30. I0. J - . 2
N282 G1 Y - 34. 641
N284 G2 X20. 1 Y - 34. 814 I - . 2 J0.
N286 X0. Y - 40. 2 I - 20. 1 J34. 814
N288 X - 20. 1 Y - 34. 814 I0. J40. 2
N290 X - 20. 2 Y - 34. 641 I. 1 J. 173
N292 G1 Y - 32. 321
N294 G3 X - 30. 2 Y - 22. 321 I - 10. J0.
N296 G1 G40 X - 40. 2
N298 X - 40. Y - 42. 321
N300 G41 D2 X - 30.
N302 G3 X - 20. Y - 32. 321 I0. J10.
N304 G1 Y - 30.
N306 X20.
N308 Y - 34. 641
N310 G2 X0. Y - 40. I - 20. J34. 641
N312 X - 20. Y - 34. 641 I0. J40.
N314 G1 Y - 32. 321
N316 G3 X - 30. Y - 22. 321 I - 10. J0.
N318 G1 G40 X - 40.
N320 G0 Z25.
N322 M5
N324 G91 G28 Z0.
N326 G28 X0. Y0. A0.
N328 M30
%

二、加工准备与加工要求

1. 加工准备

本样例选择 TK7650 型 FANUC 0i 系统或 SIEMENS 802D 数控铣床或加工中心进行加工，编程方式采用手工编程，换刀方式采用手动换刀。

加工中使用的刀具、量具和工具参照表 1-1 进行配置，零件毛坯参照图 14-2 进行配置。

2. 加工要求

本样例的工时定额（包括编程与手动输入程序）为 4h，其加工要求见表 24-1。

表 24-1 职业技能鉴定样例 24 评分表

工件编号				总得分			
项目与配分		序号	技术要求	配分	评分标准	检测记录	得分
工件 加工 评分 (100)	正面 外形 轮廓 (50)	1	$88 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.03 \end{smallmatrix} \text{mm}$	4×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		2	$68 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.03 \end{smallmatrix} \text{mm}$	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		3	$20 \begin{smallmatrix} +0.03 \\ 0 \end{smallmatrix} \text{mm}$	4×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		4	$12 \begin{smallmatrix} +0.03 \\ 0 \end{smallmatrix} \text{mm}$	4×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		5	$16 \begin{smallmatrix} +0.06 \\ +0.03 \end{smallmatrix} \text{mm}$	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		6	$54 \begin{smallmatrix} +0.06 \\ +0.03 \end{smallmatrix} \text{mm}$	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		7	(10±0.03) mm	3	超差一处扣 3 分		
		8	(20±0.10) mm	3	超差 0.02mm 扣 1 分		
		9	Ra3.2μm	3	超差一处扣 1 分		
		10	R18mm、R8mm、R10mm 等	2	超差一处扣 1 分		
		11	工件轮廓形状完整	3	不完整一处扣 2 分		
	反面 轮廓 (38)	12	$64 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.03 \end{smallmatrix} \text{mm}$	4×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		13	$44 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.03 \end{smallmatrix} \text{mm}$	3×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		14	$5 \begin{smallmatrix} +0.03 \\ 0 \end{smallmatrix} \text{mm}$	3	超差 0.01mm 扣 1 分		
		15	平行度 0.05mm	3×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		16	曲面轮廓	7	不正确全扣		
		17	曲面槽	4	不正确全扣		
		18	Ra3.2μm	2	超差一处扣 1 分		
		19	工件轮廓形状完整	2	不完整一处扣 2 分		
	孔 (6)	20	φ12H8	1×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		21	Ra1.6μm	1×2	超差一处扣 1 分		
		22	工件轮廓形状完整	2	不完整一处扣 2 分		
	其他 (6)	23	工件按时完成	2	未按时完成全扣		
		24	工件无过切等缺陷	2	缺陷一处扣 2 分		
		25	工件去毛倒棱 C0.3mm	2	酌情扣 0~6 分		



(续)

工件编号			总得分			
项目与配分	序号	技术要求	配分	评分标准	检测记录	得分
程序与工艺 (倒扣分)	26	程序正确合理	倒扣	每错一处扣1分		
	27	加工工艺正确	倒扣	不合理每处扣2分		
机床操作 (倒扣分)	28	机床操作规范	倒扣	出错一次扣2分		
	29	工件、刀具装夹规范	倒扣	出错一次扣2分		
安全文明生产 (倒扣分)	30	安全操作	倒扣	因安全事故停止操作 可酌情扣5~30分		
	31	整理机床	倒扣			

三、相关知识【曲面加工路线选择技巧】

选择曲面加工刀具轨迹时,其选择的依据是曲面的基本形状、曲面的加工性质(粗加工、半精加工、精加工)和曲面的加工要求。而选择曲面加工的刀具时,则通常根据曲面加工的性质来选择。通常情况下,选择圆鼻刀进行曲面粗加工,且尽可能取较大的刀具直径;选择球形铣刀进行半精加工和精加工,同样也尽可能取较大的刀具直径;选择较小直径球形铣刀进行曲面补加工。

1. 曲面加工过程中加工类型的选择

曲面加工时,一般分为粗加工、半精加工、局部精加工和精加工四种类型。曲面加工的程序通常通过自动编程获得。

粗加工的目的主要是采用较大的刀具快速去除大部分加工余量。使用的刀具通常为圆鼻刀,常用的加工方式有平行铣削、挖槽铣削、放射状加工、等高外形铣削等多种。但选择这些加工形式时,应根据毛坯的类型和曲面的具体情况来选择。

半精加工的主要目的是保证均匀的精加工余量,通常选用圆鼻刀或球形铣刀来进行半精加工。半精加工常用的加工方式主要有平行铣削或等高外形铣削,铣削过程中应尽量减少提刀次数,以提高工作效率。

曲面精加工时,通常采用球形铣刀进行加工,不进行Z向的分层切削。因此,精加工余量必须均匀,一般取0.15~0.3mm。曲面精加工时,常用的加工方式有等高外形铣削、平行铣削、放射状加工、环绕等距加工等。

局部精加工又称为补加工,通常在精加工后进行。因此,这种加工方式主要用于精加工后的补加工。选择的刀具一般为直径较小的球形铣刀。常用的加工方式有清根加工(又称清角加工)、陡斜面加工和浅平面加工等。

2. 常用曲面加工轨迹

曲面加工的刀具轨迹有很多种,现简要介绍最常用的几种刀具轨迹。

(1) 平行铣削加工轨迹 平行铣削是指刀具轨迹沿曲面轮廓平行且与机床XY平面中的坐标轴平行或呈某一固定角度。平行铣削主要适用于曲率变化不大曲面的精加工,如凸模顶部或凹模的底部。平行铣削既可用于精加工,也可用于粗加工。

当进行平行铣削精加工时，通常选用球形铣刀进行加工，而进行平行铣削粗加工时，则通常采用圆鼻铣刀进行加工。

刀具轨迹与 X 轴夹角的大小由自动编程中的参数决定。如图 24-2a 所示为刀具轨迹与 X 轴平行，而图 24-2b 所示为刀具轨迹与 X 轴的夹角始终为 45° 。在实际加工过程中，通常选用与 X 轴有一定夹角的刀具轨迹。

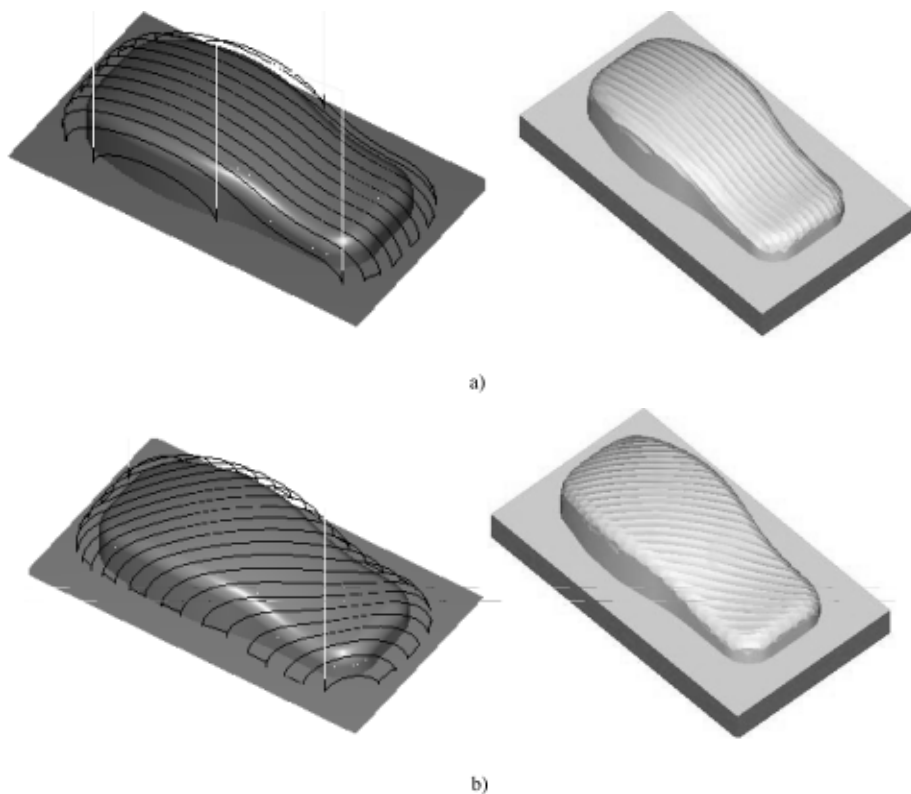


图 24-2 平行铣削刀具轨迹

a) 刀具轨迹与 X 轴平行 b) 刀具轨迹与 X 轴的夹角始终为 45°

(2) 曲面挖槽 在 Mastercam 软件中，曲面挖槽是曲面加工过程中最主要的一种粗加工形式，这种加工方式仅适用于粗加工场合。曲面挖槽中对于槽的形状，既可以是一个封闭的内型腔曲面，也可以是一个开放式的外轮廓曲面。曲面挖槽加工的刀具轨迹如图 24-3 所示。

(3) 等高外形加工 等高外形加工是沿曲面外形生成的刀具路径，即仅对高度方向的侧壁轮廓进行加工，而不对其他部位的加工余量和平整的上表面进行加工。

等高外形加工的刀具轨迹如图 24-4 所示，由于仅对加工表面进行加工，因此加工完成后有多处余量没有去除，包括其中两个凸台的上层余量均没有去除。另

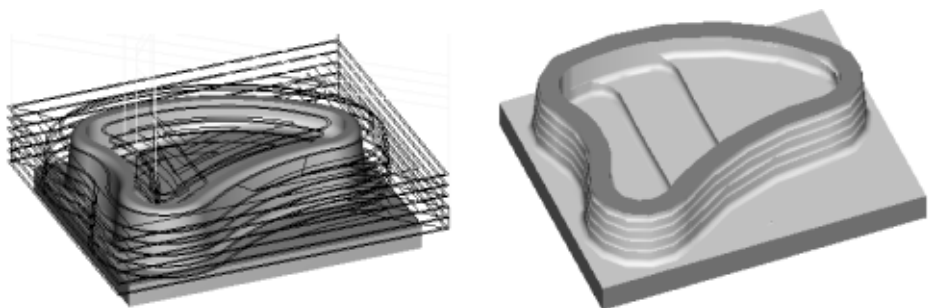


图 24-3 曲面挖槽刀具轨迹

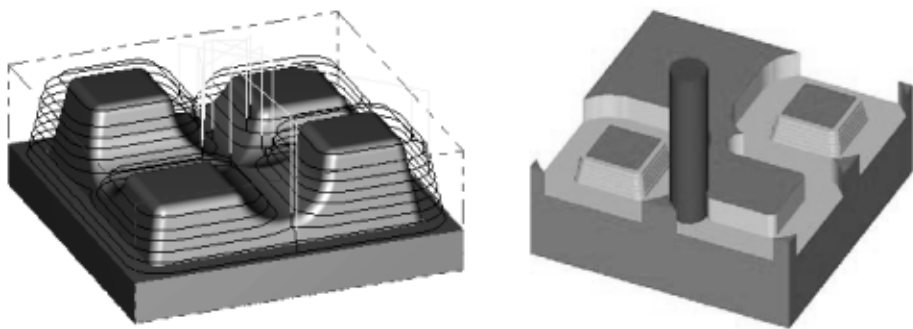


图 24-4 等高外形刀具轨迹

外,当刀具下降至最底层时,刀具的背吃刀量是整个加工高度。因此,等高外形加工通常使用在半精加工和精加工场合,而不使用在粗加工的场合。

(4) 放射状加工刀具轨迹 放射状加工又称为激光加工,它是指刀具绕一个旋转中心点进行工件某一范围内类似于放射形状的加工。这种加工方式适用于圆形边界或对称模具结构的加工。

这种加工方式既适用于曲面粗加工,也适用于曲面精加工。粗加工的刀具路径如图 24-5a 所示,采用 Z 向分层切削的方式进行,粗加工时,选用的刀具通常为立铣刀或圆鼻刀。精加工的刀具路径如图 24-5b 所示,一次完成曲面轮廓的加工,选用的刀具通常为球形铣刀。

(5) 曲面补加工刀具轨迹 常用的曲面补加工有浅平面精加工、陡斜面精加工、清根精加工等多种形式。

浅平面精加工是对加工后浅平面内部分残留材料进行的一种精加工,浅平面由斜坡角度决定,浅平面与水平方向的夹角通常小于 45° 。浅平面精加工过程中选用的刀具一般为直径较小的球形铣刀。

陡斜面精加工是指清除三维模型陡斜坡面上残留材料的一种精加工方式,陡斜面由斜坡角度决定,陡斜面与水平方向的夹角通常大于 45° 。陡斜面精加工过程中

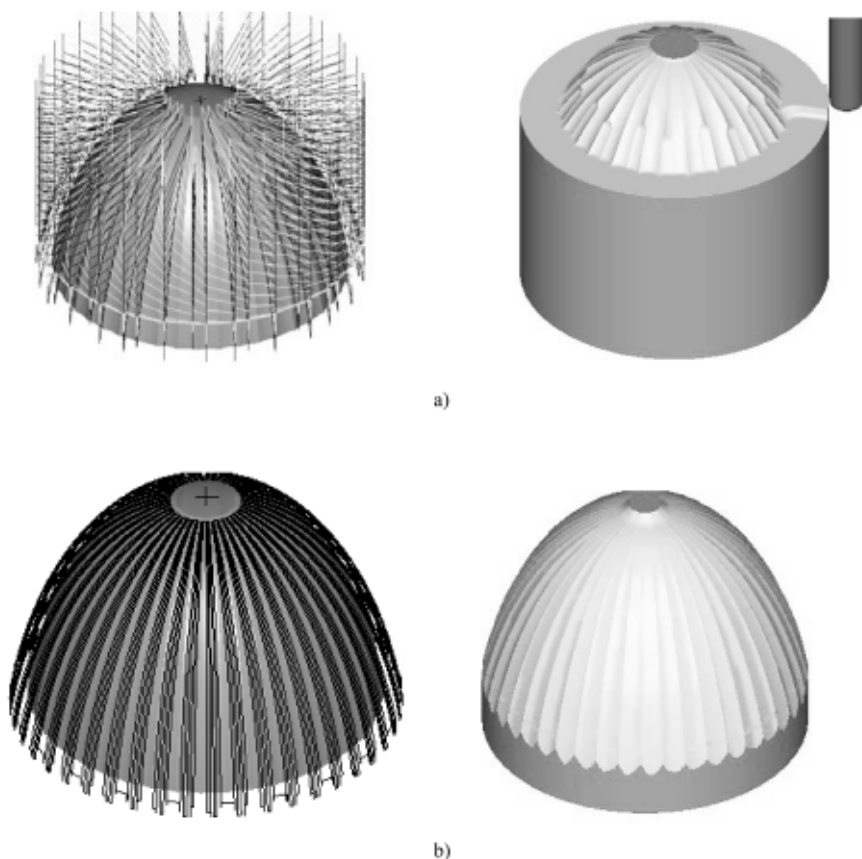


图 24-5 放射状精加工刀具轨迹

a) 放射状粗加工刀具轨迹 b) 放射状精加工刀具轨迹

同样选用直径较小的球形铣刀。

清根精加工是指清除曲面间交角部分的残留材料，所选刀具要比以前所选用的刀具小。它属于一种局部精加工，常用于修整工序。

四、零件加工

1. 零件自动编程

以 Mastercam 软件为例，本例工件的自动编程方案如下：

(1) 反面型腔铣削 选择 2D 挖槽加工方式进行型腔加工。型腔加工时，先采用环切或平行切削方式去除型腔中的加工余量，再沿型腔内轮廓进行精加工。加工刀具为 $\phi 12\text{mm}$ 的平底立铣刀，切削用量参数为： $n = 2500\text{r/min}$ ， $v_f = 800\text{mm/min}$ ， $a_p = 3\text{mm}$ （ Z 向采用分层切削）。其加工轨迹如图 24-6a 所示，加工后的结果如图



24-6b 所示。

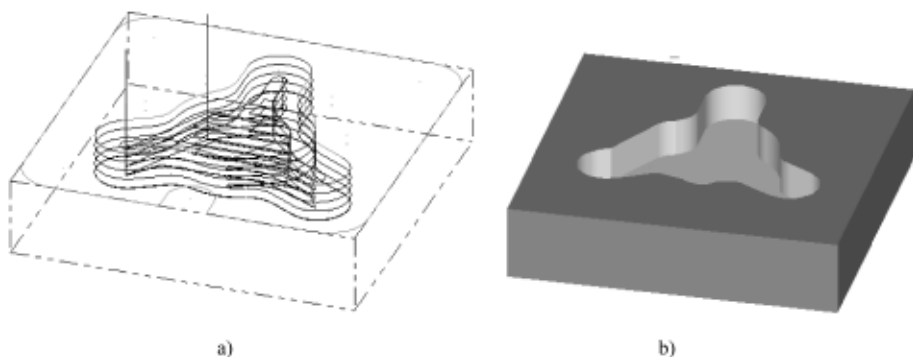


图 24-6 加工反面内型腔

a) 刀具轨迹图 b) 加工结果

(2) 反面外轮廓加工 加工反面外圆轮廓时,选择轮廓铣削作为加工方式,采用圆弧线方式切入与切出,在 Z 向采用分层铣削的加工方式,以去除加工余量。其加工轨迹如图 24-7a 所示,加工后的结果如图 24-7b 所示。

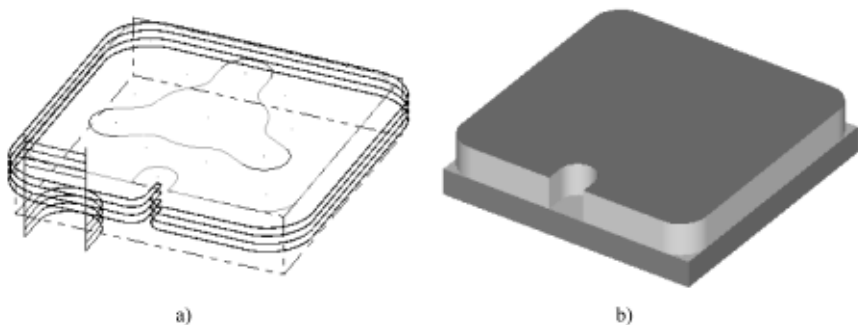


图 24-7 反面外圆加工

a) 刀具轨迹图 b) 加工结果

(3) 外形轮廓加工 加工正面外形轮廓时,首先画出辅助线,再选择 2D 挖槽加工方式进行型腔加工。加工时,先采用环切方式去除加工余量,再沿轮廓方向进行一次精加工。其加工轨迹如图 24-8a 所示,加工后的结果如图 24-8b 所示。上部的四方体则采用轮廓加工方式进行加工。加工后的结果如图 24-8c 所示。

(4) 曲面加工 加工正面外形轮廓的曲面时,先采用平行铣削方式进行粗加工,再采用平行铣削方式进行精加工。粗、精加工过程中,应注意干涉面的合理选择。曲面粗加工的加工结果如图 24-9a 所示,曲面精加工的加工结果如图 24-9b 所示。

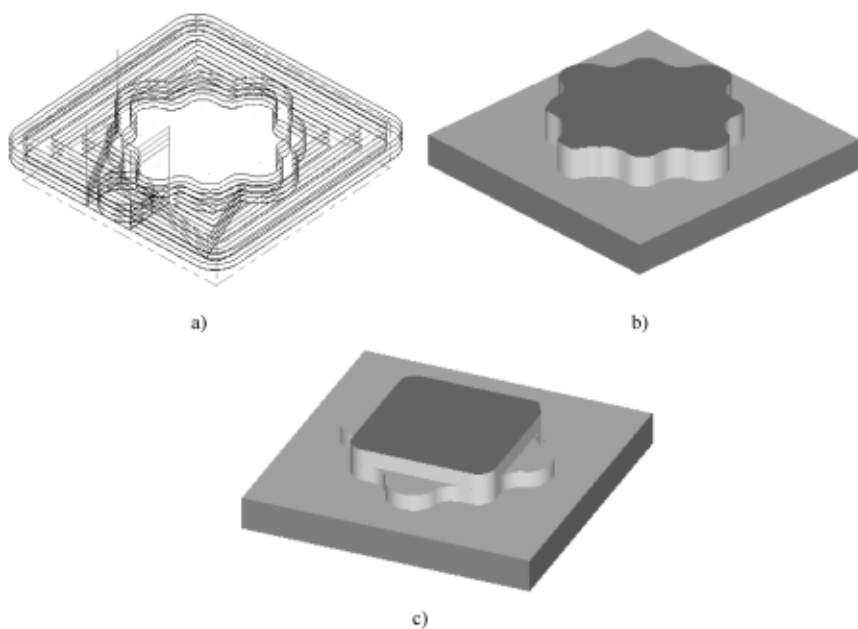


图 24-8 正面外轮廓加工

a) 刀具轨迹图 b) 加工结果 c) 加工四方体后的结果

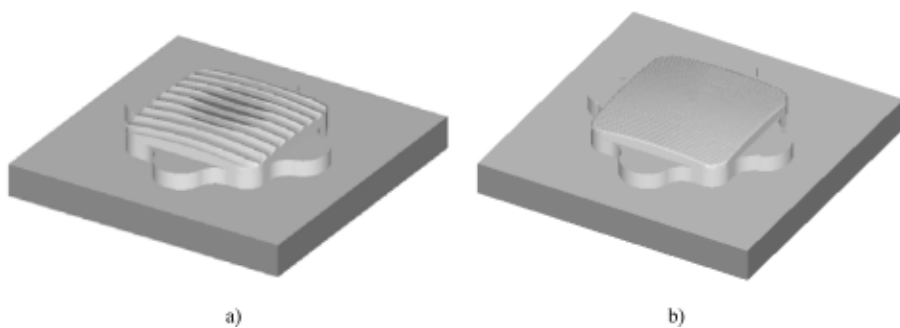


图 24-9 曲面加工

a) 曲面粗加工结果 b) 曲面精加工结果

2. 局部加工程序

本例工件采用自动编程方式编写的四方体加工程序如下：

%

O0000 (T)

(DATE = DD - MM - YY - 10 - 09 - 12 TIME = HH : MM - 15 : 45)

(MCX FILE - C : \USERS \SJF \DESKTOP \T. MCX - 6)

(NC FILE - C : \USERS \SJF \DOCUMENTS \MY MCAMX6 \MILL \NC \T. NC)



(MATERIAL - ALUMINUM MM - 2024)

(T1 | | H1 | D1 | CONTROL COMP | TOOL DIA. - 12.)

N100 G21

N102 G0G17 G40 G49 G80 G90

N104 T1 M6

N106 G0 G90 G54 X12. Y-46.2 A0. S0 M5

N108 G43 H1 Z35.

N110 Z20.

N112 G1 Z5. F0.

N114 G41 D1 Y-34.2

N116 G3 X0. Y-22.2 I-12. J0.

N118 G1 X-16.

N120 G2 X-22.2 Y-16. I0. J6.2

N122 G1 Y16.

N124 G2 X-16. Y22.2 I6.2 J0.

N126 G1 X16.

N128 G2 X22.2 Y16. I0. J-6.2

N130 G1 Y-16.

N132 G2 X16. Y-22.2 I-6.2 J0.

N134 G1 X0.

N136 G3 X-12. Y-34.2 I0. J-12.

N138 G1 G40 Y-46.2

N140 G0 Z30.

N142 X12. Y-46.

N144 Z20.

N146 G1 Z5.

N148 G41 D1 Y-34.

N150 G3 X0. Y-22. I-12. J0.

N152 G1 X-16.

N154 G2 X-22. Y-16. I0. J6.

N156 G1 Y16.

N158 G2 X-16. Y22. I6. J0.

N160 G1 X16.

N162 G2 X22. Y16. I0. J-6.

N164 G1 Y-16.

N166 G2 X16. Y-22. I-6. J0.

N168 G1 X0.

N170 G3 X-12. Y-34. I0. J-12.

N172 G1 G40 Y-46.

N174 G0 Z35.

N176 M5

N178 G91 G28 Z0.

N180 G28 X0. Y0. A0.

N182 M30

%

考核目标

- ◆ 复杂零件的编程与加工；
- ◆ 复杂零件的加工工艺分析；
- ◆ 计算机传输程序技巧。

一、考核要求

加工图 25-1 所示零件（坯件尺寸为 $90\text{mm} \times 90\text{mm} \times 25\text{mm}$ ），试分析其加工工艺并编写其数控铣加工程序。

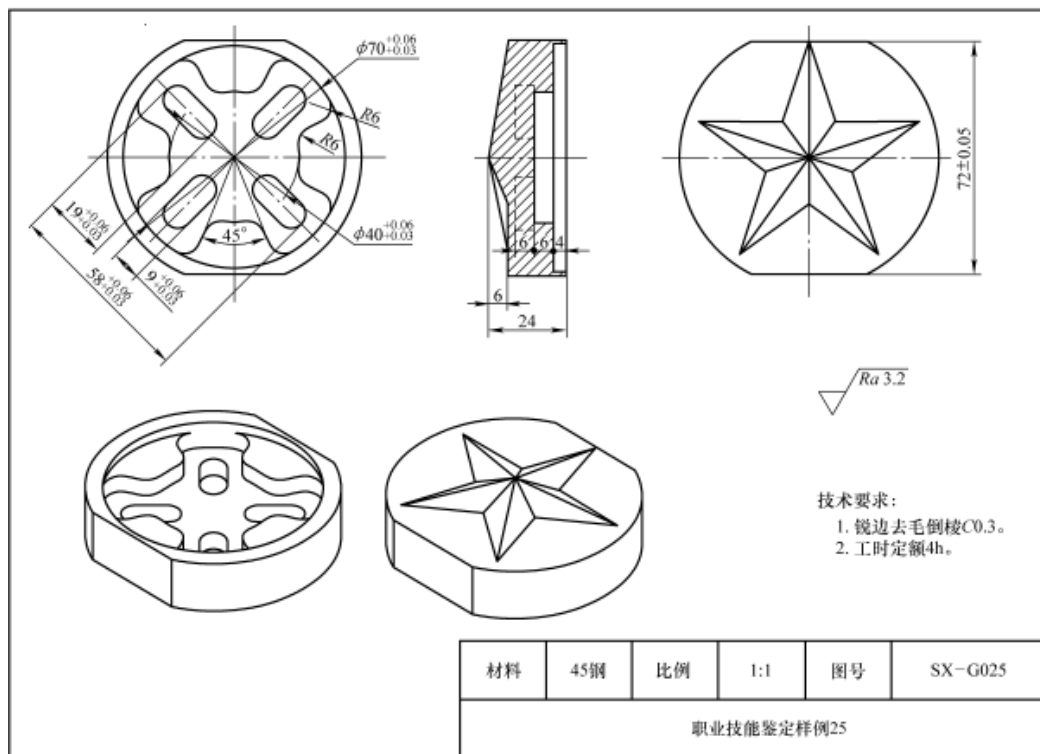


图 25-1 职业技能鉴定样例 25

二、加工准备与加工要求

1. 加工准备

本样例选择 TK7650 型 FANUC 0i 系统或 SIEMENS 802D 数控铣床或加工中心进行加工，编程方式采用手工编程，换刀方式采用手动换刀。

加工中使用的刀具、量具和工具参照表 1-1 进行配置，本样例选用的毛坯为 $\phi 90\text{mm} \times 25\text{mm}$ 的 45 钢或硬铝（请读者根据自身考工条件进行选择，选择不同的材料时，请注意选择不同的切削用量参数），毛坯材料的技术要求如图 25-2 所示。

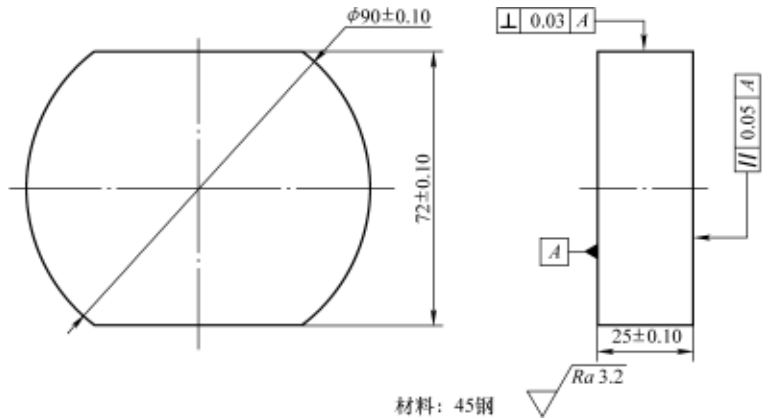


图 25-2 毛坯图

2. 加工要求

本样例的工时定额（包括编程与手动输入程序）为 4h，其加工要求见表 25-1。

表 25-1 职业技能鉴定样例 25 评分表

工件编号		总得分				
项目与配分	序号	技术要求	配分	评分标准	检测记录	得分
工件 加工 评分 (100)	正面 外形 轮廓 (62)	1 $19^{+0.06}_{+0.03}\text{mm}$	3 × 4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		2 $9^{+0.06}_{+0.03}\text{mm}$	3 × 4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		3 $\phi 70^{+0.06}_{+0.03}\text{mm}$	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		4 $58^{+0.06}_{+0.03}\text{mm}$	3 × 2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		5 6mm	3 × 2	超差一处扣 3 分		
		6 4mm	3	超差 0.01mm 扣 1 分		
		7 (72 ± 0.05) mm	4	超差 0.02mm 扣 1 分		
		8 $\phi 40^{+0.06}_{+0.03}\text{mm}$	4	超差 0.02mm 扣 1 分		
		9 $Ra3.2\mu\text{m}$	5	超差一处扣 1 分		
		10 45° 、 $R6\text{mm}$ 、24mm 等	3	超差一处扣 1 分		
		11 工件轮廓形状完整	3	不完整一处扣 2 分		

(续)

工件编号				总得分			
项目与配分		序号	技术要求	配分	评分标准	检测记录	得分
工件加工评分 (100)	反面轮廓 (32)	12	6mm	6	超差 0.01mm 扣 1 分		
		13	曲面轮廓正确	12	不符合要求酌情扣分		
		14	曲面表面质量	6	超差 0.01mm 扣 1 分		
		15	工件轮廓形状完整	8	不完整一处扣 2 分		
	其他 (6)	16	工件按时完成	2	未按时完成全扣		
		17	工件无过切等缺陷	2	缺陷一处扣 2 分		
		18	工件去毛倒棱 C 0.3mm	2	酌情扣 0 ~ 2 分		
程序与工艺 (倒扣分)		19	程序正确合理	倒扣	每错一处扣 1 分		
		20	加工工艺正确	倒扣	不合理每处扣 2 分		
机床操作 (倒扣分)		21	机床操作规范	倒扣	出错一次扣 2 分		
		22	工件、刀具装夹规范	倒扣	出错一次扣 2 分		
安全文明生产 (倒扣分)		23	安全操作	倒扣	因安全事故停止操作 可酌情扣 5 ~ 30 分		
		24	整理机床	倒扣			

三、相关知识【计算机传输程序技巧】

当程序段较短时，通常采用手工方式将数控程序输入数控机床，而当程序较长时，则采用计算机传输方式输入数控系统。

当前，市场上常用的传输软件有 WIN PCIN、CNC EDIT、NC Sentry 等，这些传输软件虽然种类不同，但其传输方法却大同小异。现以西门子系统随机光盘中自带的 WIN PCIN 软件为例来说明传输的方法。

1. 数控传输线的连接

数控传输线是数控机床与计算机之间的通信线，其连接方式有两种，即 9 针与 9 针相连和 9 针与 25 针相连。其连接插件如图 25-3 所示，连接方式如图 25-4 所示。



图 25-3 传输连接插件

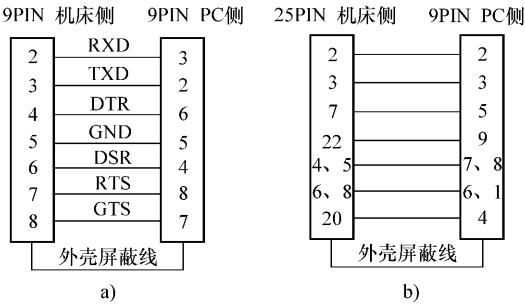


图 25-4 传输线连接

2. 数控程序的传输设置

在计算机中打开西门子系统传输软件 WIN PCIN，出现图 25-5 所示操作主界面。单击“RS232 Config”按钮，进入图 25-6 所示传输参数设置界面。根据机床中所设置的参数，在程序中设置如下所示的传输参数值并保存。



图 25-5 传输软件 WIN PCIN 操作主界面

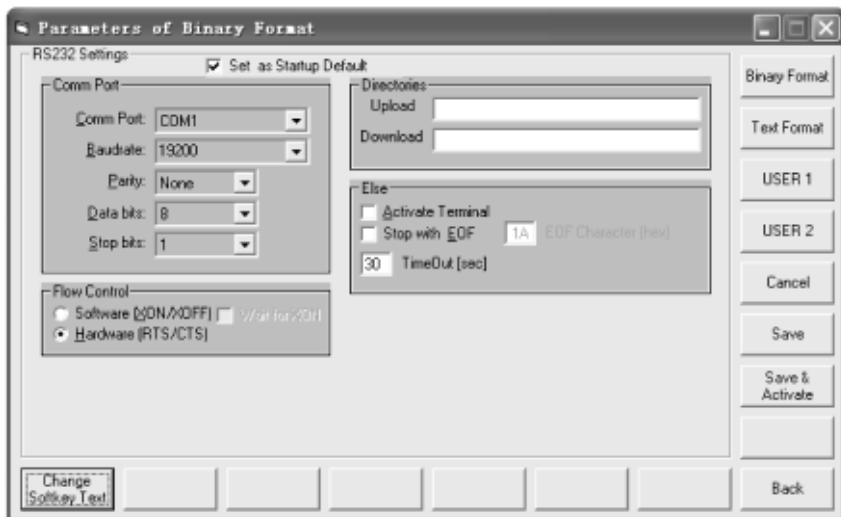


图 25-6 传输参数设置画面

- ① 传输端口 (Comm Port): 根据计算机的接线口选择 COM1 或 COM2。
- ② 波特率 (Baudrate): 9600 或 4800。



- ③ 数据位 (Data bits): 7。
- ④ 停止位 (Stop bits): 2。
- ⑤ 奇偶校验 (Parity): EVEN。
- ⑥ 代码类别: ISO。

3. 传输程序说明及其修改

为了使所编程序适用于不同的数控系统,在后置处理程序时,应首先设定选用不同的数控系统。后置处理生成的程序,通常为“*.NC”格式的文件,可用记事本将该文件打开、编辑和保存,保存的文件格式为“*.txt”。用于程序传输的程序段须夹在两个“%”之间,否则无法进行传输。其程序格式如下所示:

```
%  
O0020  
( PROGRAM NAME - 3 - 1 )  
( DATE = DD - MM - YY - 20 - 04 - 07 TIME = HH:MM - 19:24 )  
N100 G21  
N102 G0 G17 G40 G49 G80 G90  
( 12. FLAT ENDMILL TOOL - 1 DIA. OFF. - 1 LEN. - 1 DIA. - 12. )  
N104 T1 M6  
N106 G0 G90 G54 X - 80.5 Y - 12. A0. S1600 M3  
N108 G43 H1 Z50.  
N110 Z22.  
N112 G1 Z6. F50.  
.....  
N372 M5  
N374 G91 G28 Z0.  
N376 G28 X0. Y0. A0.  
N378 M30  
%
```

对于软件自动编制的程序,通常需要稍作修改后才能能在机床上使用,一般只需改动程序的开始和结束部分即可。以本例的程序为例,修改时,只需将程序中带“■”的程序内容删除即可。另外,如果在数控铣床上进行加工,则需删除程序段“N104 T1 M6”。

4. 程序的输入

在程序传输的过程中,一般是哪一侧要输入,则哪一侧先操作,具体操作过程如下:

- 1) 按下机床操作面板的“EDIT”按钮,按下 MDI 功能按钮“PROG”。
- 2) 输入地址 O 及赋值给程序的程序号,按下显示屏软键 [OPRT]。
- 3) 按下屏幕软键 [READ] 和 [EXEC], 程序被输入。

4) 在计算机传输软件主界面上按“Send Data”进入发送界面,找到要传输的程序(见图 25-7)并打开,即开始传输程序。

传输完成后,注意比较一下计算机和机床两端的数据,如果数据大小一致,则表明传输成功。

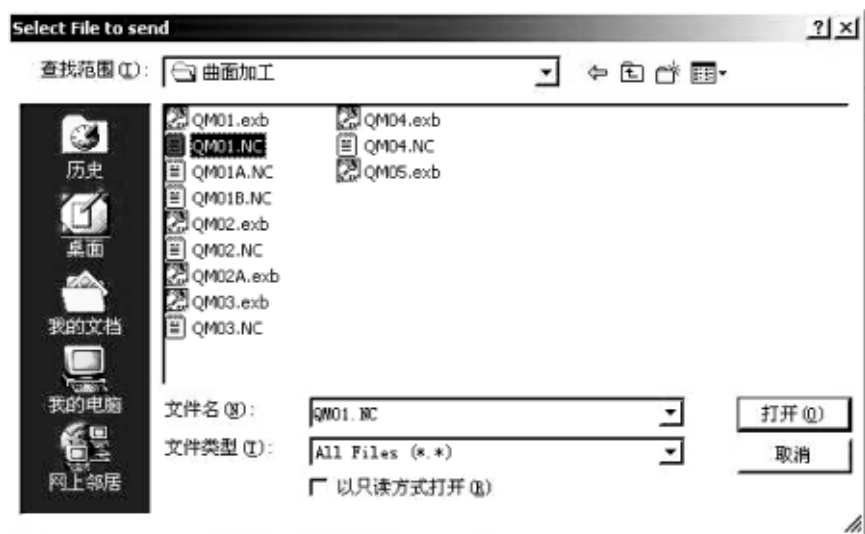


图 25-7 加工程序的传输界面

四、零件加工

1. 曲面自动编程过程分析

以 Mastercam 软件为例,本例工件曲面的自动编程过程如下:

- 1) 绘制图 25-8 所示曲线图素。
- 2) 采用“平面修剪”功能,绘制图 25-9 所示曲面。

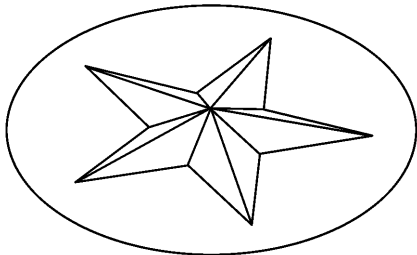


图 25-8 绘制直线图素

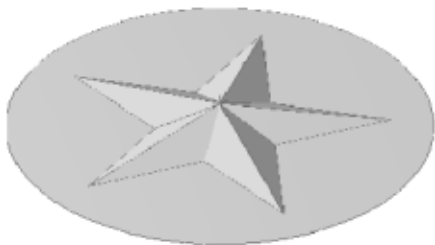


图 25-9 绘制曲面

- 3) 进入数控铣床加工模式,设定圆柱形加工毛坯,完成后如图 25-10 所示。
- 4) 采用“曲面挖槽”模式进行曲面粗加工,加工后的结果如图 25-11 所示。

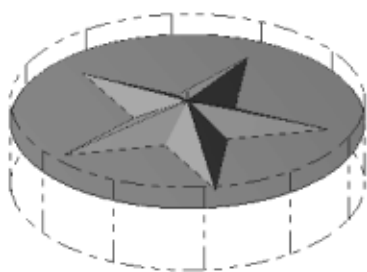


图 25-10 设定零件毛坯

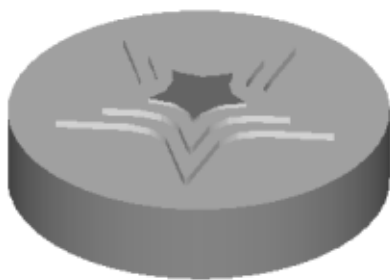
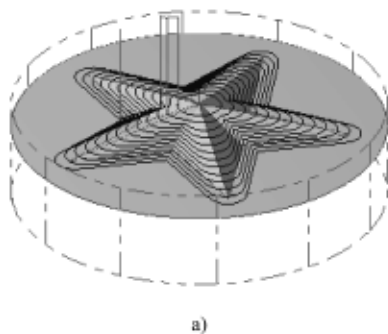


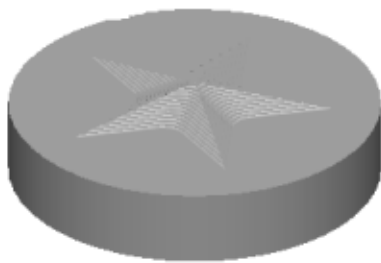
图 25-11 零件粗加工

曲面粗加工时,选择五角星曲面和底面作为加工曲面,以外圆轮廓作为加工边界,允许刀具切削时,刀具可至边界之外。

5) 采用“等高外形精加工”或“曲面放射状精加工”方式进行曲面的精加工,加工时以底平面作为干涉面。曲面等高外形精加工的刀具轨迹如图 25-12a 所示,加工后的结果如图 25-12b 所示。



a)



b)

图 25-12 曲面加工

a) 曲面精加工刀具轨迹 b) 曲面精加工结果

2. 加工程序

请读者根据以上加工思路,自行编写加工程序。

考核目标

- ◆ 复杂零件的编程与加工；
- ◆ 复杂零件的加工工艺分析；
- ◆ 曲面表面质量与加工精度提高的技巧。

一、考核要求

加工图 26-1 所示零件（坯件尺寸为 $\phi 90\text{mm} \times 25\text{mm}$ ），试分析其加工工艺并编写其数控铣加工程序。

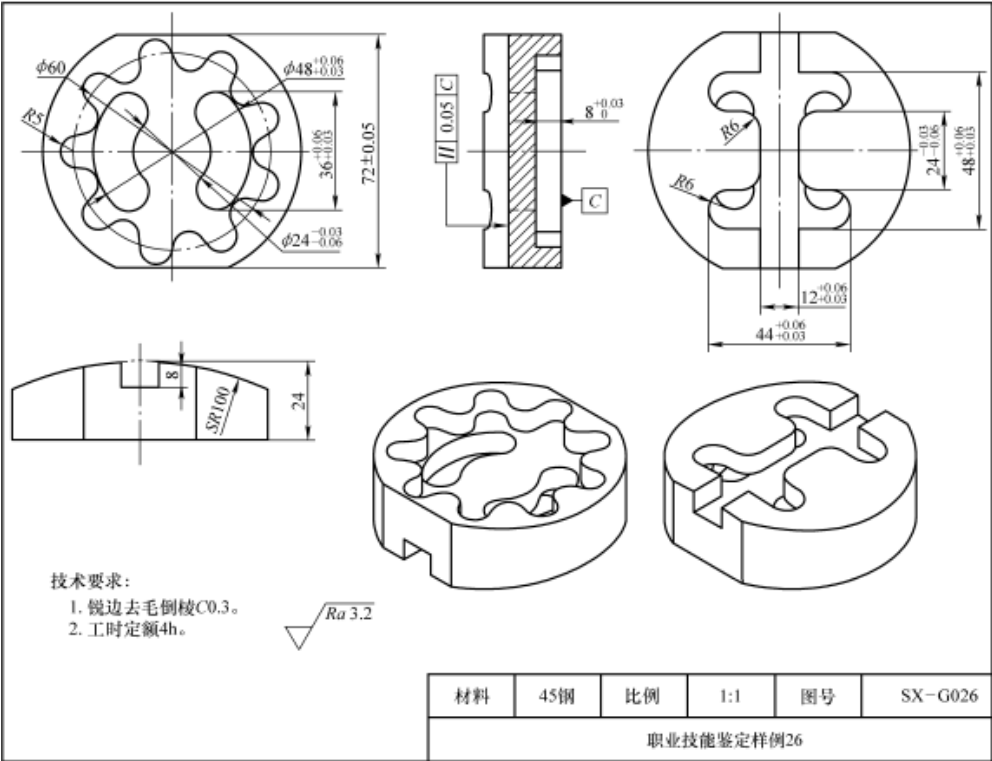


图 26-1 职业技能鉴定样例 26



二、加工准备与加工要求

1. 加工准备

本样例选择 TK7650 型 FANUC 0i 系统或 SIEMENS 802D 数控铣床或加工中心进行加工, 编程方式采用手工编程, 换刀方式采用手动换刀。

加工中使用的刀具、量具和工具参照表 1-1 进行配置, 零件毛坯参照图 25-2 进行配置。

2. 加工要求

本样例的工时定额(包括编程与手动输入程序)为 4h, 其加工要求见表 26-1。

表 26-1 职业技能鉴定样例 26 评分表

工件编号				总得分			
项目与配分		序号	技术要求	配分	评分标准	检测记录	得分
工件加工评分 (100)	正面外形轮廓 (44)	1	$36^{+0.06}_{+0.03}$ mm	4×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		2	$\phi 48^{+0.06}_{+0.03}$ mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		3	$\phi 24^{-0.03}_{-0.06}$ mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		4	$8^{+0.03}_0$ mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		5	平行度 0.05mm	4	超差一处扣 3 分		
		6	24mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		7	(72 ± 0.05) mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		8	Ra3.2μm	4	超差一处扣 1 分		
		9	φ60mm、R5mm 等	4	超差一处扣 1 分		
		10	工件轮廓形状完整	4	不完整一处扣 2 分		
	反面轮廓 (50)	11	$12^{+0.06}_{+0.03}$ mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		12	$44^{+0.06}_{+0.03}$ mm	4×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		13	$48^{+0.06}_{+0.03}$ mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		14	$24^{-0.03}_{-0.06}$ mm	4×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		15	曲面形状正确	10	不符合要求酌情扣分		
		16	曲面表面质量	6	不符合要求酌情扣分		
		17	反面一般尺寸	4	超差一处扣 1 分		
		18	工件轮廓形状完整	6	不完整一处扣 2 分		
	其他 (6)	19	工件按时完成	2	未按时完成全扣		
		20	工件无过切等缺陷	2	缺陷一处扣 2 分		
		21	工件去毛倒棱 C0.3mm	2	酌情扣 0~2 分		

(续)

工件编号			总得分			
项目与配分	序号	技术要求	配分	评分标准	检测记录	得分
程序与工艺 (倒扣分)	22	程序正确合理	倒扣	每错一处扣 1 分		
	23	加工工艺正确	倒扣	不合理每处扣 2 分		
机床操作 (倒扣分)	24	机床操作规范	倒扣	出错一次扣 2 分		
	25	工件、刀具装夹规范	倒扣	出错一次扣 2 分		
安全文明生产 (倒扣分)	26	安全操作	倒扣	因安全事故停止操作 可酌情扣 5 ~ 30 分		
	27	整理机床	倒扣			

三、相关知识【曲面表面质量与加工精度提高的技巧】

采用球形铣刀通过行切法加工曲面时，其加工质量与刀具半径和行间距有直接关系。当刀具半径越大、行间距越小时，曲面加工过程中的残余高度就越小，加工质量就越好。但选择球形铣刀刀具半径时，应根据曲面的最小内凹曲率半径来选取（即球形铣刀刀具半径应小于最小内凹曲率半径）。

1. 曲面切削方法

曲面加工时，不管采取何种加工刀具轨迹，均采用图 26-2 所示的行切法进行切削加工。采用球形铣刀加工曲面时，同一行刀具轨迹所在的平面称为截平面，截平面之间的距离称为行距。行距之间残留余量高度的最大值称为残余高度，残余高度与球形铣刀的直径、行距有关。

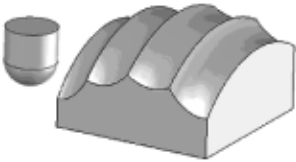


图 26-2 行切法

2. 平行铣削加工误差分析

平行铣削时，为了保证曲面的加工质量，通常需控制曲面残余高度值。而自动编程过程中，编程软件会根据操作者要求的残余高度值来反推计算出行间距最大值，再通过控制行距来控制残余高度。残余高度与行距之间的换算关系如图 26-3 所示。

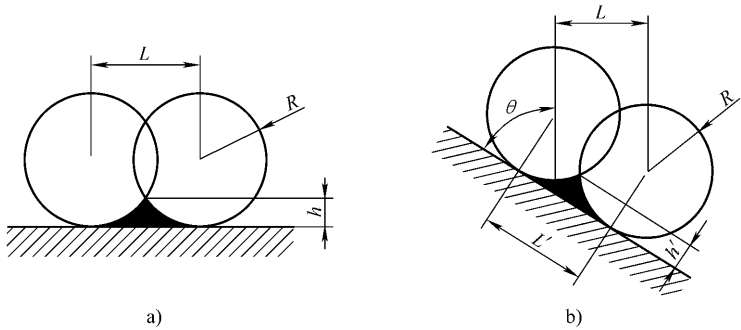


图 26-3 残余高度与行距的关系

a) 铣削平面时的残余高度 b) 铣削斜面时的残余高度



如图 26-3a 所示, 铣削平面时残余高度的计算式为

$$h = R - \sqrt{R^2 - (L/2)^2} \quad (26-1)$$

$$L = 2 \sqrt{R^2 - (R - h)^2} \quad (26-2)$$

式中 h ——残余高度;

L ——行距;

R ——球形铣刀的半径。

如图 26-3b 所示, 铣削斜面时残余高度的计算式为

$$L' = L / \sin \theta \quad (26-3)$$

$$h' = R - \sqrt{R^2 - (L'/2)^2} = R - \sqrt{R^2 - [L/(2\sin\theta)]^2} \quad (26-4)$$

$$L = 2 \sqrt{R^2 - (R - h')^2} \sin \theta \quad (26-5)$$

式中 L' ——行距;

h' ——斜面上的残余高度;

θ ——斜面方向与垂直方向的夹角。

其余参数的含义参照式 (26-1) 和式 (26-2)。

[例 26-1] 采用平行铣削方式加工与水平方向夹角为 78.69° 的斜面, 假设 X 方向的行距为 1mm, 球形铣刀的半径是 10mm, 则残余高度的计算过程如下:

$$L' = L / \sin \theta = 1 \text{ mm} / \sin 78.69^\circ = 1.02 \text{ mm}$$

$$h' = R - \sqrt{R^2 - (L'/2)^2} = (10 - \sqrt{10^2 - 0.51^2}) \text{ mm} = (10 - 9.987) \text{ mm} = 0.013 \text{ mm}$$

[例 26-2] 采用平行铣削方式加工与水平方向夹角为 78.69° 的斜面, 假设工件加工过程中允许的残余高度为 0.03mm, 球形铣刀的半径是 10mm, 则 X 方向行距为

$$L = 2 \sqrt{R^2 - (R - h')^2} \sin \theta = 2 \sin 78.69^\circ \times \sqrt{10^2 - 9.97^2} \text{ mm} = 1.52 \text{ mm}$$

3. 等高外形加工误差分析

在等高外形加工过程中, 层高是指两相邻相切削层之间的 Z 向距离。如图 26-4 所示, 通过层高的设定, 来控制其加工误差 (残余高度)。

等高外形加工时, 其加工误差的计算式为

$$L' = d / \cos \theta \quad (26-6)$$

$$h' = R - \sqrt{R^2 - (L'/2)^2} = R - \sqrt{R^2 - [d / (2 \cos \theta)]^2} \quad (26-7)$$

$$d = 2 \sqrt{R^2 - (R - h')^2} \cos \theta \quad (26-8)$$

[例 26-3] 采用 $R6\text{mm}$ 的球形铣刀进行等高外形精加工, $\theta = 5^\circ$, 设定的层高为 2mm, 试求加工后的残余高度。

$$\begin{aligned} h' &= R - \sqrt{R^2 - [d / (2 \cos \theta)]^2} = 6 \text{ mm} - \sqrt{36 - [2 / (2 \cos 5^\circ)]^2} \text{ mm} \\ &= (6 - 5.915) \text{ mm} = 0.085 \text{ mm} \end{aligned}$$

如果要将残余高度控制在 0.05mm 以内, 则最大层高应设为多少?

$$d = 2 \sqrt{R^2 - (R - h')^2} \cos \theta = 2 \times \sqrt{6^2 - (6 - 0.05)^2} \times \cos 5^\circ \text{mm} = 1.552 \text{mm}$$

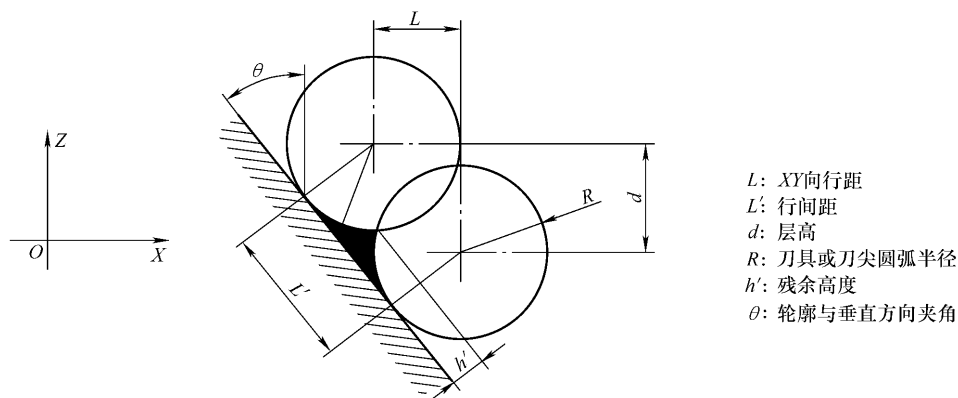


图 26-4 层高与加工误差的关系

4. 放射状加工的加工误差

放射状加工时,从垂直于曲面的方向观察刀具轨迹,其轨迹类似于平行铣削加工,其加工误差在轮廓外缘时达到最大值。因此,其误差值与外缘轮廓的直径和扫掠角度有直接关系。以 $R8\text{mm}$ 的球形铣刀加工图 26-5 所示工件,外缘轮廓的最大直径为 $\phi 142.5\text{mm}$,当扫掠角度为 5° 时,其误差计算如下:

$$\text{周长 } C = \pi D = 3.14 \times 142.5 \text{mm} = 447.45 \text{mm}$$

$$\text{行距 } L = C \times 5/360 = 447.45/72 \text{mm} = 6.21 \text{mm}$$

$$\begin{aligned} \text{残余高度 } h &= R - \sqrt{R^2 - (L/2)^2} = 8 \text{mm} - \sqrt{8^2 - (6.21/2)^2} \text{mm} \\ &= (8 - 7.37) \text{mm} = 0.63 \text{mm} \end{aligned}$$

四、零件加工

1. 曲面自动编程过程分析

以 Mastercam 软件为例,本例工件曲面的自动编程过程如下:

- 1) 采用旋转切除的方式绘制图 26-5 所示实体。
- 2) 进入数控铣床加工模式,设定圆柱形加工毛坯,完成后如图 26-6 所示。



图 26-5 绘制实体

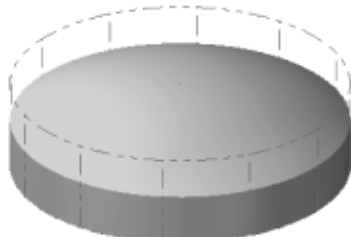


图 26-6 设定零件毛坯



3) 采用曲面挖槽模式进行曲面粗加工, 加工后的结果如图 26-7 所示。

4) 采用曲面等高外形精加工方式进行曲面的精加工, 加工后的结果如图 26-8 所示。

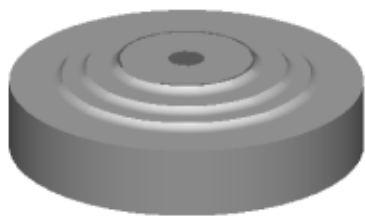


图 26-7 曲面粗加工

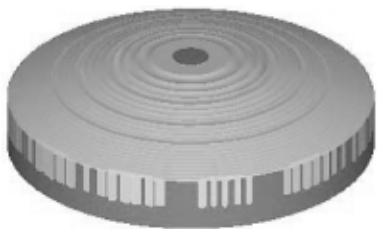


图 26-8 曲面精加工

5) 绘制图 26-9 所示 2D 刀具路径轮廓线。

6) 生成 2D 刀具路径, 加工后的结果如图 26-10 所示。

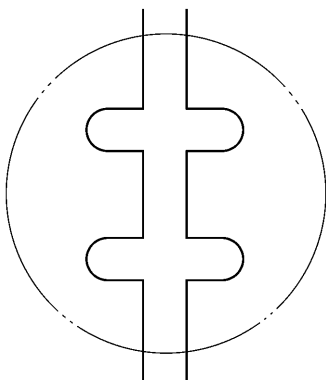


图 26-9 2D 刀具路径轮廓线



图 26-10 2D 轮廓加工

2. 加工程序

请读者根据以上加工思路, 自行编写加工程序。

考核目标

- ◆ 复杂零件的编程与加工；
- ◆ 复杂零件的加工工艺分析；
- ◆ 系统参数备份与恢复技巧。

一、考核要求

加工图 27-1 所示零件（坯件尺寸为 $\phi 90\text{mm} \times 25\text{mm}$ ），试分析其加工工艺并编写其数控铣加工程序。

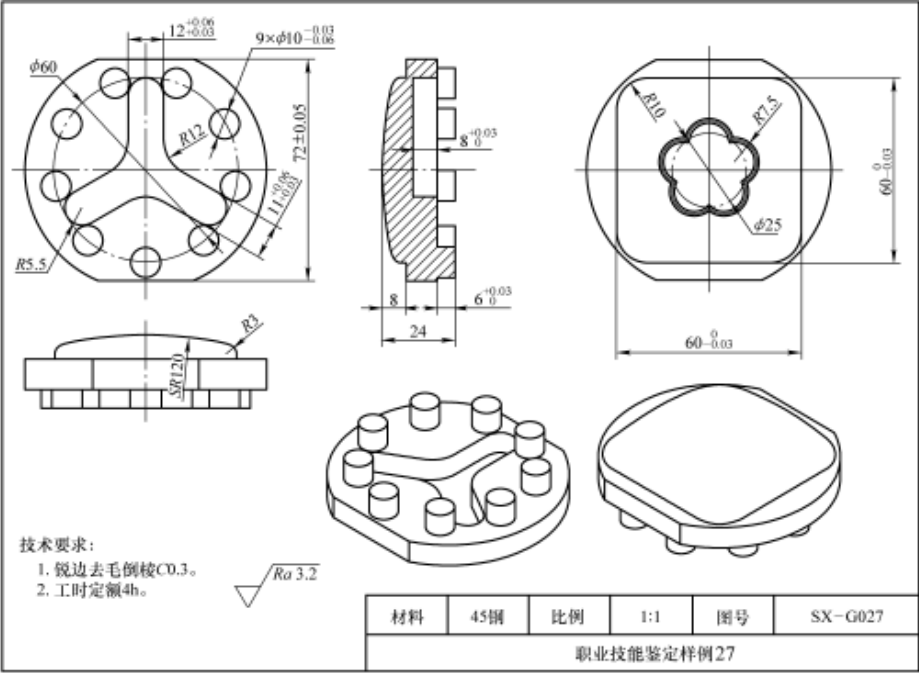


图 27-1 职业技能鉴定样例 27

二、加工准备与加工要求

1. 加工准备

本样例选择 TK7650 型 FANUC 0i 系统或 SIEMENS 802D 数控铣床或加工中心



进行加工，编程方式采用手工编程，换刀方式采用手动换刀。

加工中使用的刀具、量具和工具参照表 1-1 进行配置，零件毛坯参照图 25-2 进行配置。

2. 加工要求

本样例的工时定额（包括编程与手动输入程序）为 4h，其加工要求见表 27-1。

表 27-1 职业技能鉴定样例 27 评分表

工件编号				总得分			
项目与配分		序号	技术要求	配分	评分标准	检测记录	得分
工件加工评分 (100)	正面外形轮廓 (58)	1	$\phi 10_{-0.06}^{-0.03}\text{mm}$	2×9	超差 0.01mm 扣 1 分		
		2	$12_{+0.03}^{+0.06}\text{mm}$	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		3	$11_{+0.03}^{+0.06}\text{mm}$	4×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		4	$6_{0}^{+0.03}\text{mm}$	3	超差 0.01mm 扣 1 分		
		5	$8_{0}^{+0.03}\text{mm}$	3	超差 0.01mm 扣 1 分		
		6	24mm	3	超差 0.01mm 扣 1 分		
		7	(72 ± 0.05) mm	3	超差 0.02mm 扣 1 分		
		8	$60_{-0.03}^{0}\text{mm}$	3×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		9	Ra3.2μm	4	超差一处扣 1 分		
		10	R5.5mm、φ60mm 等	3	超差一处扣 1 分		
		11	工件轮廓形状完整	3	不完整一处扣 2 分		
	反面轮廓 (36)	12	曲面形状正确	10	不符合要求酌情扣分		
		13	曲面表面质量	6	不符合要求酌情扣分		
		14	雕刻图案正确	8	不符合要求酌情扣分		
		15	雕刻深度一致	4	不符合要求酌情扣分		
		16	Ra3.2μm	4	超差一处扣 1 分		
		17	工件轮廓形状完整	4	不完整一处扣 2 分		
	其他 (6)	18	工件按时完成	2	未按时完成全扣		
		19	工件无过切等缺陷	2	缺陷一处扣 2 分		
		20	工件去毛倒棱 C 0.3mm	2	酌情扣 0 ~ 2 分		
程序与工艺 (倒扣分)		21	程序正确合理	倒扣	每错一处扣 1 分		
		22	加工工艺正确	倒扣	不合理每处扣 2 分		
机床操作 (倒扣分)		23	机床操作规范	倒扣	出错一次扣 2 分		
		24	工件、刀具装夹规范	倒扣	出错一次扣 2 分		
安全文明生产 (倒扣分)		25	安全操作	倒扣	因安全事故停止操作 可酌情扣 5 ~ 30 分		
		26	整理机床	倒扣			

三、相关知识【系统参数备份与恢复技巧】

数控机床的使用过程中，常常会因为系统长时间失电、机床误操作等使系统参数或螺距补偿参数丢失，此时机床将不能正常启动。为此，通常要通过传输方式将这些系统参数或螺距补偿参数恢复。而由于数控机床的这些参数（特别是螺距补偿参数）与机床是一一对应的，因此新机床买回来时，数控生产厂家都会针对每一台机床提供一份机床参数的备份。如果没有机床参数的备份，则使用前应采用传输方式进行参数备份。

1. 输出（备份）和输入（恢复）系统参数

输入或输出系统参数时，仍采用计算机传输方式进行输入与输出，现仍采用 WIN PCIN 传输软件进行参数传输，其输出系统参数的操作步骤如下：

1) 正确连接数控机床与计算机，设定传输软件的传输参数。

2) 在计算机传输软件主界面上单击“Receive Data”，出现图 27-2 所示保存文件界面，输入相应的文件名称后单击“保存”按钮。

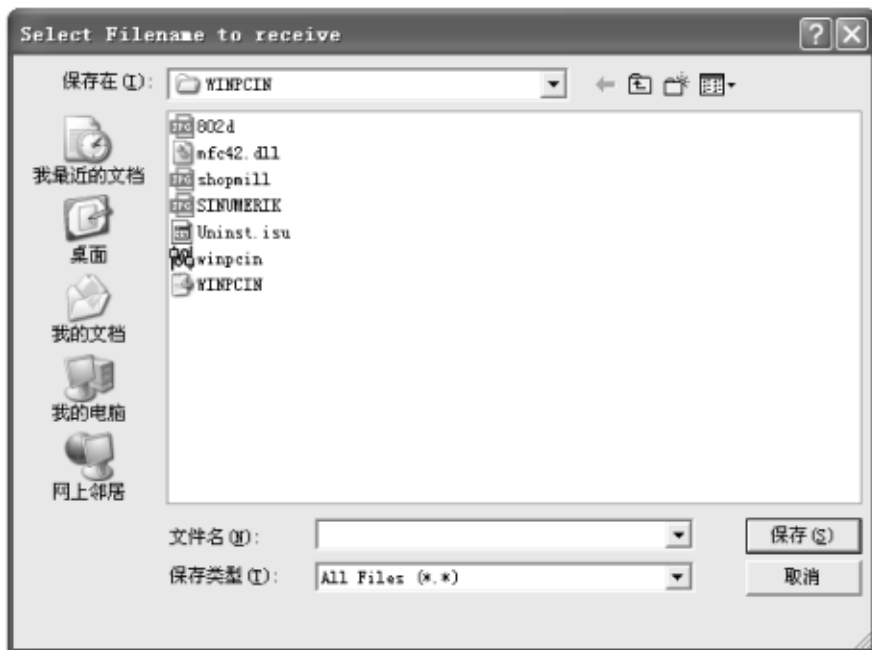


图 27-2 参数保存画面

3) 使系统处于“EDIT”状态。

4) 按下 MDI 功能键“SYSTEM”，再按下屏幕下方的软键 [PARAM]，出现参数画面。

5) 在参数画面中按下屏幕软键 [OPRT]，再按下屏幕右下方的扩展软键  (菜单扩展键)。



6) 按下软键 [PUNCH], 如果要输出所有参数, 则按下软键 [ALL]。

7) 按下软键 [EXEC], 所有的参数以指定的格式输出, 此时在传输软件中出现数据传输画面。参数的输出格式如下:

N... P...;

N... A1P... A2P... AnP...;

N... P...;

格式中的“N...”为参数号, “A...”为轴号, “P...”为参数设置值。

输入系统参数的操作步骤如下:

1) 正确连接数控机床与计算机, 设定传输软件的传输参数。

2) 使系统处于“MDI”状态, 按下“急停”按钮。

3) 按下 MDI 功能键“OFFSET SETTING”, 再按下屏幕下方的软键 [SETTING], 出现 SETTING 画面。

4) 在画面中修改“PARAMETER WRITE = 0”为“PARAMETER WRITE = 1”, 系统出现 P/S100 报警。

5) 按下 MDI 功能键“SYSTEM”, 再按下屏幕下方的软键 [PARAM], 出现参数画面。

6) 在参数画面中按下屏幕软键 [OPRT], 再按下屏幕右下方的扩展软键  (菜单扩展键)。

7) 按下软键 [READ], 再按下软键 [EXEC], 此时在屏幕的右下角出现闪烁的“INPUT”字样。

8) 在计算机传输软件主界面上单击“Send Data”进入发送界面, 找到要传输的参数(刚才保存的参数文件)并打开, 参数被传输进入数控系统, 即开始传输程序。

9) 传输完成后闪烁的“INPUT”字样消失, 再次修改“PARAMETER WRITE = 1”为“PARAMETER WRITE = 0”。

10) 切断系统电源, 再重新启动数控系统, 解除系统的急停报警。

2. 输入和输出螺距补偿参数

输出螺距补偿参数的操作步骤如下:

1) 正确连接数控机床与计算机, 设定传输软件的传输参数。

2) 在计算机传输软件主界面上单击“Receive Data”, 出现图 27-2 所示保存文件界面, 输入相应的文件名称后单击“保存”。

3) 使系统处于“EDIT”状态。

4) 按下 MDI 功能键“SYSTEM”, 再按下屏幕右下方的扩展软键  (菜单扩展键), 再按下软键 [PITCH]。

5) 按下屏幕软键 [OPRT], 再次按下扩展软键 .

6) 按下软键 [PUNCH], 再按下软键 [EXEC], 所有的螺距补偿参数以指定

的格式输出，参数的输出格式如下：

N10000 P…;

N11023 P…;

格式中的“N…”为螺距误差补偿点 NO. + 10000，“P…”为螺距误差补偿值。

如果螺距误差补偿为双向螺距误差补偿时，其参数的输出格式为

N20000 P…;

N21023 P…;

N23000 P…;

N24023 P…;

输入螺距补偿参数的操作与输入系统参数的操作步骤相同。

四、零件加工

1. 曲面自动编程过程分析

以 Mastercam 软件为例，本例工件曲面的自动编程过程如下：

- 1) 采用旋转切除的方式绘制图 27-3 所示实体。
- 2) 进入数控铣床加工模式，设定圆柱形加工毛坯，完成后如图 27-4 所示。



图 27-3 绘制实体

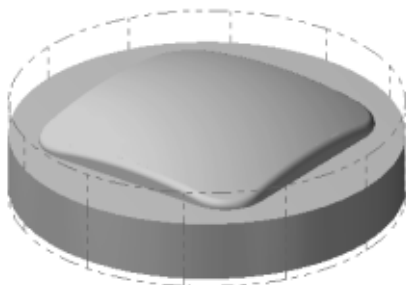


图 27-4 设定零件毛坯

- 3) 生成 2D 刀具路径，加工后的结果如图 27-5 所示。
- 4) 采用平行铣削方式进行曲面粗加工，加工后的结果如图 27-6 所示。

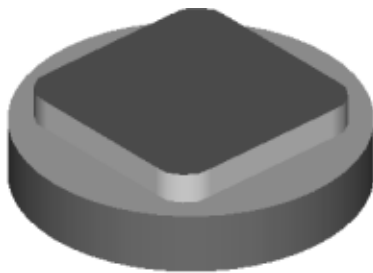


图 27-5 2D 轮廓加工

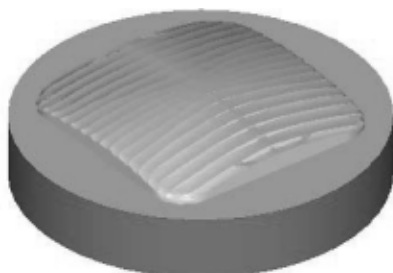


图 27-6 曲面粗加工



5) 采用平行铣削方式进行曲面精加工, 其刀具轨迹如图 27-7a 所示, 加工后的结果如图 27-7b 所示。

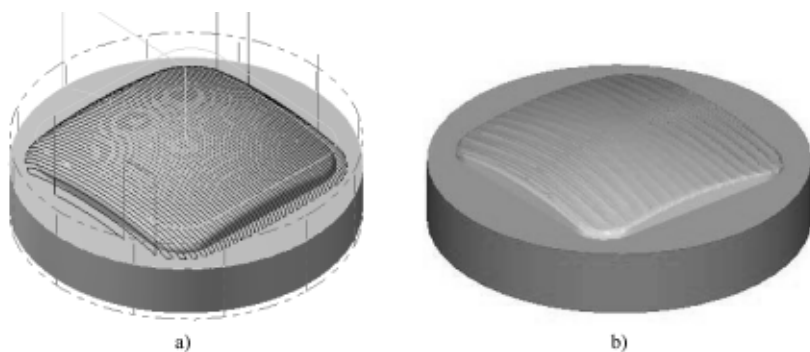


图 27-7 曲面精加工

a) 曲面精加工刀具轨迹 b) 曲面精加工结果

6) 绘制图 27-8 所示曲面投影加工轮廓。

7) 采用曲面精加工投影加工方式加工曲面表面的图案, 加工后的结果如图 27-9 所示。

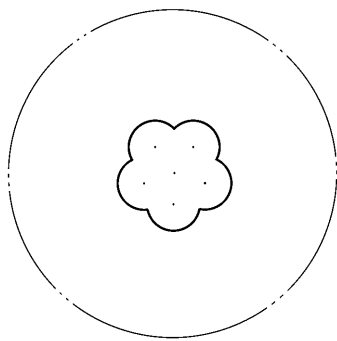


图 27-8 曲面投影加工轮廓

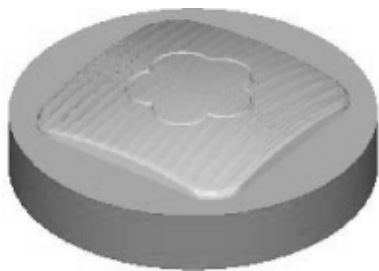


图 27-9 精加工曲面投影加工

2. 加工程序

请读者根据以上加工思路, 自行编写加工程序。

考核目标

- ◆ 复杂零件的编程与加工；
- ◆ 平面挖槽粗、精加工；
- ◆ 曲面挖槽粗加工；
- ◆ 曲面平行铣削精加工。

一、考核要求

加工图 28-1 所示零件（坯件尺寸为 $\phi 90\text{mm} \times 25\text{mm}$ ），试分析其加工工艺并编写其数控铣加工程序。

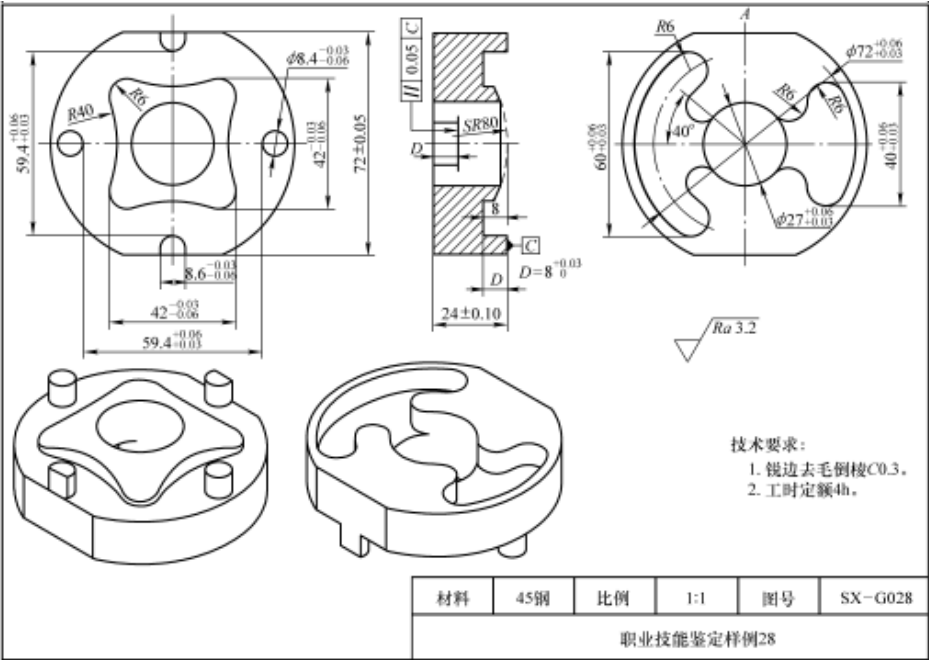


图 28-1 职业技能鉴定样例 28

二、加工准备与加工要求

1. 加工准备

本样例选择 TK7650 型 FANUC 0i 系统或 SIEMENS 802D 数控铣床或加工中心



进行加工，编程方式采用手工编程，换刀方式采用手动换刀。

加工中使用的刀具、量具和工具参照表 1-1 进行配置，零件毛坯参照图 25-2 进行配置。

2. 加工要求

本样例的工时定额（包括编程与手动输入程序）为 4h，其加工要求见表 28-1。

表 28-1 职业技能鉴定样例 28 评分表

工件编号				总得分			
项目与配分		序号	技术要求	配分	评分标准	检测记录	得分
工件 加工 评分 (100)	正面 外形 轮廓 (64)	1	$42_{-0.06}^{-0.03}$ mm	4×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		2	$8.6_{-0.06}^{-0.03}$ mm	4×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		3	$59.4_{+0.03}^{+0.06}$ mm	4×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		4	$\phi 8.4_{-0.06}^{-0.03}$ mm	4×2	超差 0.01mm 扣 1 分		
		5	曲面轮廓正确	10	不符合要求酌情扣分		
		6	曲面表面质量	5	不符合要求酌情扣分		
		7	$8_{0}^{+0.03}$ mm	3	超差 0.01mm 扣 1 分		
		8	(24±0.10) mm	3	超差 0.02mm 扣 1 分		
		9	(72±0.05) mm	3	超差 0.02mm 扣 1 分		
		10	Ra3.2μm	3	超差一处扣 1 分		
		11	R40mm、R6mm 等	2	超差一处扣 1 分		
		12	工件轮廓形状完整	3	不完整一处扣 2 分		
	反面 轮廓 (30)	13	$40_{+0.03}^{+0.06}$ mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		14	$60_{+0.03}^{+0.06}$ mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		15	$\phi 72_{+0.03}^{+0.06}$ mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		16	$\phi 27_{+0.03}^{+0.06}$ mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		17	$8_{0}^{+0.03}$ mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		18	平行度 0.05mm	3	超差 0.01mm 扣 1 分		
		19	一般尺寸正确	3	超差一处扣 1 分		
		20	Ra3.2μm	2	超差一处扣 1 分		
		21	工件轮廓形状完整	2	不完整一处扣 2 分		
	其他 (6)	24	工件按时完成	2	未按时完成全扣		
		25	工件无过切等缺陷	2	缺陷一处扣 2 分		
		26	工件去毛倒棱 C0.3mm	2	酌情扣 0~2 分		

(续)

工件编号			总得分			
项目与配分	序号	技术要求	配分	评分标准	检测记录	得分
程序与工艺 (倒扣分)	27	程序正确合理	倒扣	每错一处扣 1 分		
	28	加工工艺正确	倒扣	不合理每处扣 2 分		
机床操作 (倒扣分)	29	机床操作规范	倒扣	出错一次扣 2 分		
	30	工件、刀具装夹规范	倒扣	出错一次扣 2 分		
安全文明生产 (倒扣分)	31	安全操作	倒扣	因安全事故停止操作 可酌情扣 5 ~ 30 分		
	32	整理机床	倒扣			

三、零件加工

1. 曲面自动编程过程分析

以 Mastercam 软件为例，本例工件曲面的自动编程过程如下：

- 1) 采用旋转切除的方式绘制图 28-2 所示实体。
- 2) 进入数控铣床加工模式，设定圆柱形加工毛坯，完成后的结果如图 28-3 所示。

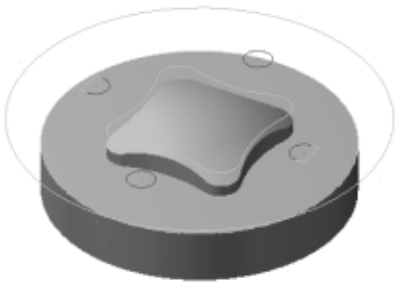


图 28-2 绘制实体

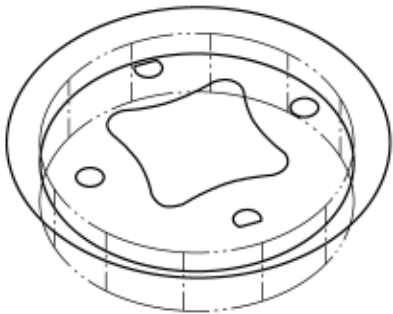


图 28-3 设定零件毛坯

- 3) 采用平面挖槽方式加工外轮廓，加工后的结果如图 28-4 所示。
- 4) 采用平行铣削方式进行曲面粗加工，加工后的结果如图 28-5 所示。

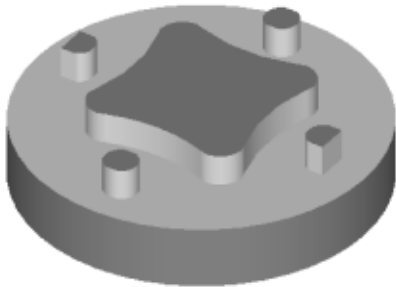


图 28-4 平面挖槽

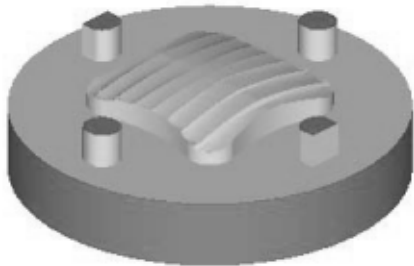


图 28-5 曲面粗加工



5) 采用平行铣削方式进行曲面精加工, 其刀具轨迹如图 28-6a 所示, 加工后的结果如图 28-6b 所示。

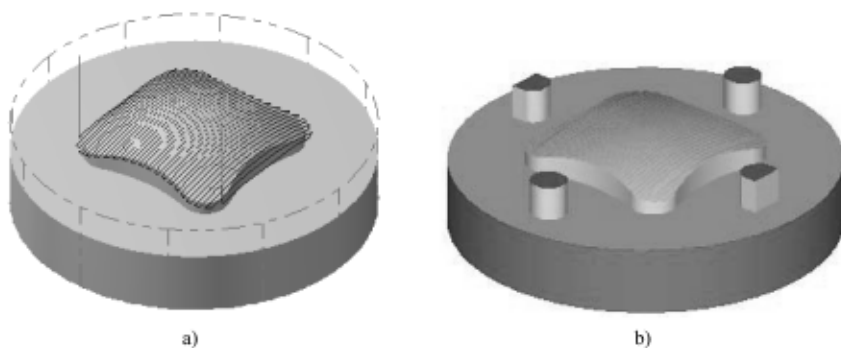


图 28-6 曲面精加工

a) 曲面精加工刀具轨迹 b) 曲面精加工结果

2. 加工程序

请读者根据以上加工思路, 自行编写加工程序。

职业技能鉴定样例

29

- 考核目标
- ◆ 复杂零件的编程与加工；
 - ◆ 复杂零件的加工工艺分析；
 - ◆ 提高分析问题、解决问题的能力。

一、考核要求

加工图 29-1 所示零件（坯件尺寸为 $\phi 90\text{mm} \times 25\text{mm}$ ），试分析其加工工艺并编写其数控铣加工程序。

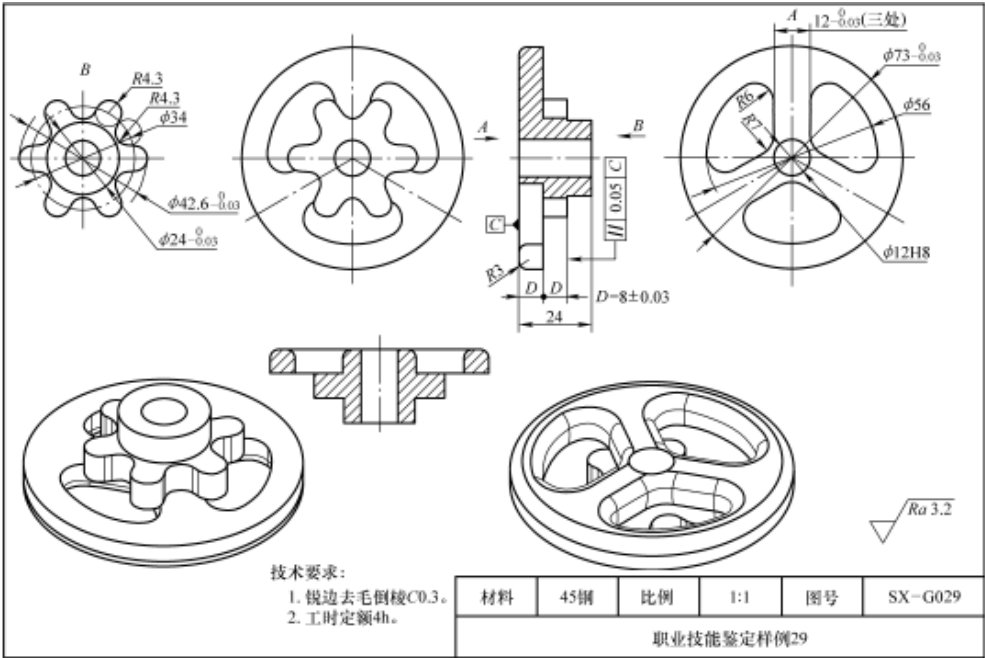


图 29-1 职业技能鉴定样例 29

二、加工准备与加工要求

1. 加工准备

本样例选择 TK7650 型 FANUC 0i 系统或 SIEMENS 802D 数控铣床或加工中心进行加工，编程方式采用手工编程，换刀方式采用手动换刀。

加工中使用的刀具、量具和工具参照表 1-1 进行配置，零件毛坯参照图 25-2



进行配置。

2. 加工要求

本样例的工时定额（包括编程与手动输入程序）为4h，其加工要求见表29-1。

表 29-1 职业技能鉴定样例 29 评分表

工件编号				总得分			
项目与配分		序号	技术要求	配分	评分标准	检测记录	得分
工件加工评分 (100)	正面外形轮廓 (38)	1	R4.3mm	6	超差 0.01mm 扣 1 分		
		2	$\phi 42.6_{-0.03}^0$ mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		3	$\phi 24_{-0.03}^0$ mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		4	(8 ± 0.03) mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		5	平行度 0.05mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		6	24mm	4	超差 0.02mm 扣 1 分		
		7	Ra3.2μm	4	超差一处扣 1 分		
		8	φ34mm 等一般尺寸	4	超差一处扣 1 分		
		9	工件轮廓形状完整	4	不完整一处扣 2 分		
	反面轮廓 (56)	10	$12_{-0.03}^0$ mm	4 × 3	超差 0.01mm 扣 1 分		
		11	$\phi 73_{-0.03}^0$ mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		12	(8 ± 0.03) mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		13	曲面轮廓正确	10	不符合要求酌情扣分		
		14	曲面表面质量	6	不符合要求酌情扣分		
		15	R3mm	4	不光滑全扣		
		16	φ12H8	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		17	一般尺寸	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		18	Ra3.2μm	4	超差一处扣 1 分		
	其他 (6)	19	工件轮廓形状完整	4	不完整一处扣 2 分		
		20	工件按时完成	2	未按时完成全扣		
		21	工件无过切等缺陷	2	缺陷一处扣 2 分		
		22	工件去毛倒棱 C 0.3mm	2	酌情扣 0 ~ 2 分		
程序与工艺 (倒扣分)		23	程序正确合理	倒扣	每错一处扣 1 分		
		24	加工工艺正确	倒扣	不合理每处扣 2 分		
机床操作 (倒扣分)		25	机床操作规范	倒扣	出错一次扣 2 分		
		26	工件、刀具装夹规范	倒扣	出错一次扣 2 分		
安全文明生产 (倒扣分)		27	安全操作	倒扣	因安全事故停止操作		
		28	整理机床	倒扣	可酌情扣 5 ~ 30 分		

三、零件加工

请读者根据零件的加工要求，自行编写加工程序。

- 考核目标
- ◆ 复杂零件的编程与加工；
 - ◆ 复杂零件的加工工艺分析；
 - ◆ 提高分析问题、解决问题的能力。

一、考核要求

加工图 30-1 所示零件（坯件尺寸为 $\phi 90\text{mm} \times 25\text{mm}$ ），试分析其加工工艺并编写其数控铣加工程序。

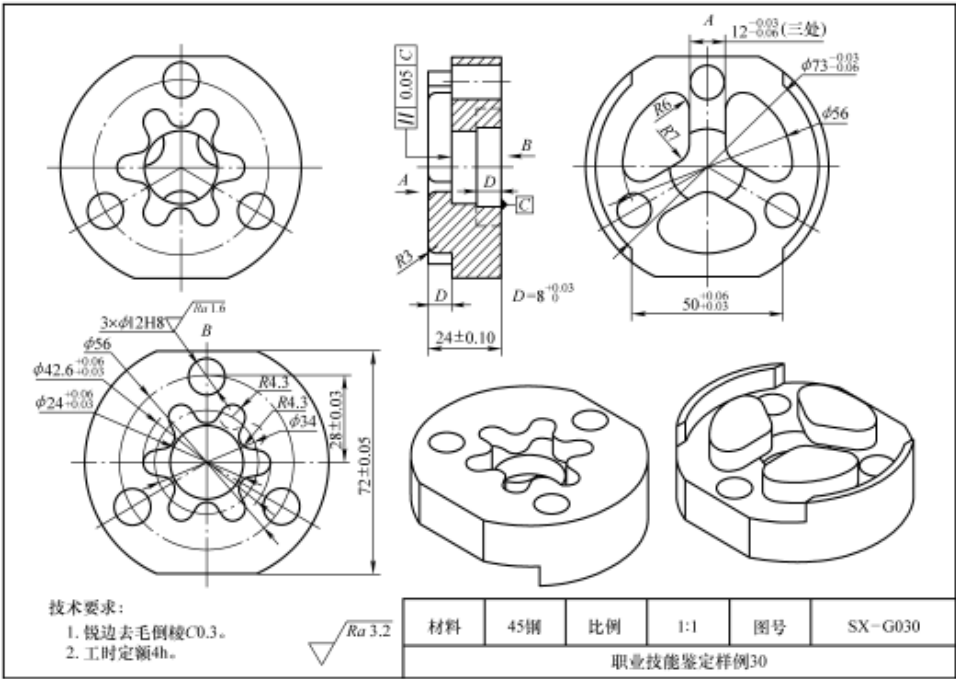


图 30-1 职业技能鉴定样例 30

二、加工准备与加工要求

1. 加工准备

本样例选择 TK7650 型 FANUC 0i 系统或 SIEMENS 802D 数控铣床或加工中心进行加工，编程方式采用手工编程，换刀方式采用手动换刀。



加工中使用的刀具、量具和工具参照表 1-1 进行配置,零件毛坯参照图 25-2 进行配置。

2. 加工要求

本样例的工时定额(包括编程与手动输入程序)为 4h,其加工要求见表 30-1。

表 30-1 职业技能鉴定样例 30 评分表

工件编号				总得分			
项目与配分		序号	技术要求	配分	评分标准	检测记录	得分
工件 加工 评分 (100)	正面 外形 轮廓 (32)	1	$\phi 42.6^{+0.06}_{+0.03}$ mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		2	$\phi 24^{+0.06}_{+0.03}$ mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		3	R4.3mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		4	$8^{+0.03}_0$ mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		5	(72±0.05) mm	4	超差 0.02mm 扣 1 分		
		6	(24±0.10) mm	4	超差 0.02mm 扣 1 分		
		7	Ra3.2μm	2	超差一处扣 1 分		
		8	R7mm、R6mm 等	3	超差一处扣 1 分		
		9	工件轮廓形状完整	3	不完整一处扣 2 分		
	反面 轮廓 (42)	10	$12^{-0.03}_{-0.06}$ mm	4×3	超差一处扣 1 分		
		11	$\phi 73^{-0.03}_{-0.06}$ mm	4	超差一处扣 1 分		
		12	$8^{+0.03}_0$ mm	4	超差一处扣 1 分		
		13	平行度 0.05mm	4	超差 0.01mm 扣 1 分		
		14	$50^{+0.06}_{+0.03}$ mm	4	超差一处扣 1 分		
		15	曲面轮廓正确	4	不符合要求酌情扣分		
		16	曲面表面质量	4	不符合要求酌情扣分		
		17	Ra3.2μm	3	超差一处扣 1 分		
		18	工件轮廓形状完整	3	不完整一处扣 2 分		
	孔 (20)	19	φ12H8	2×3	超差 0.01mm 扣 1 分		
		20	(28±0.03) mm	2×3	超差 0.01mm 扣 1 分		
		21	Ra1.6μm	2×3	超差一处扣 2 分		
		22	工件轮廓形状完整	2	不完整一处扣 2 分		
	其他 (6)	23	工件按时完成	2	未按时完成全扣		
		24	工件无过切等缺陷	2	缺陷一处扣 2 分		
		25	工件去毛倒棱 C 0.3mm	2	酌情扣 0~2 分		

(续)

工件编号			总得分			
项目与配分	序号	技术要求	配分	评分标准	检测记录	得分
程序与工艺 (倒扣分)	26	程序正确合理	倒扣	每错一处扣 1 分		
	27	加工工艺正确	倒扣	不合理每处扣 2 分		
机床操作 (倒扣分)	28	机床操作规范	倒扣	出错一次扣 2 分		
	29	工件、刀具装夹规范	倒扣	出错一次扣 2 分		
安全文明生产 (倒扣分)	30	安全操作	倒扣	因安全事故停止操作 可酌情扣 5 ~ 30 分		
	31	整理机床	倒扣			

三、零件加工

请读者根据零件的加工要求，自行编写加工程序。



国家职业资格培训教材

操作技能鉴定试题集锦与考点详解系列:

数控铣工/加工中心操作工(中级)操作技能鉴定实战详解

数控铣工/加工中心操作工(高级)操作技能鉴定试题集锦与考点详解

数控铣工/加工中心操作工(技师、高级技师)操作技能鉴定试题集锦与考点详解

数控车工(中级)操作技能鉴定实战详解

数控车工(高级)操作技能鉴定试题集锦与考点详解

数控车工(技师、高级技师)操作技能鉴定试题集锦与考点详解

车工(技师、高级技师)操作技能鉴定实战详解

机械工业职业技能鉴定考核题库(第2版):

车工技能鉴定考核题库(第2版)

钳工技能鉴定考核题库(第2版)

铣工技能鉴定考核题库(第2版)

机修钳工技能鉴定考核题库(第2版)

机械识图与制图技能鉴定考核题库(第2版)

机械基础技能鉴定考核题库(第2版)

地址:北京市百万庄大街22号

邮政编码:100037

电话服务

社服务中心:010-88361066

销售一部:010-68326294

销售二部:010-88379649

读者购书热线:010-88379203

网络服务

教材网:<http://www.cmpedu.com>

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

封面无防伪标均为盗版

更多职业技能培训、
鉴定教材,请关注:
机工技能教育



上架指导 工业技术/机械工程/机械加工

ISBN 978-7-111-46486-0

策划编辑◎荆宏智 赵磊磊/封面设计◎鞠杨

ISBN 978-7-111-46486-0



9 787111 464860 >

定价:29.80元